

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR HOTEL 6 LANTAI DI SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

MUHAMMAD ALFIRAS AZIZ
NRP. 3114 030 088

ROSELA ARDILA
NRP. 3114 030 096

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc. PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

AFIF NAVIR REVANI, ST. MT
NIP. 19840919 201504 1 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



APPLIED FINAL PROJECT - RC145501

STRUCTURE REDESIGN OF 6 STORY HOTEL AT SURABAYA USING INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM METHOD (SRPMM)

MUHAMMAD ALFIRAS AZIZ
NRP. 3114 030 088

ROSELA ARDILA
NRP. 3114 030 096

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc. PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

AFIF NAVIR REVANI, ST. MT
NIP. 19840919 201504 1 001

**ASSOCIATE DEGREE OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATION
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

“PERENCANAAN ULANG STRUKTUR HOTEL 6 LANTAI
DI SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)”

TUGAS AKHIR TERAPAN

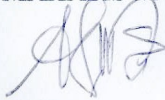
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Ahli
Madya Teknik Pada Konsentrasi Bangunan Gedung Program Studi
Diploma Tiga

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

SURABAYA, JULI 2017

Disusun oleh:

MAHASISWA 1



M. ALFIRAS AZIZ
NRP. 3114 030 088

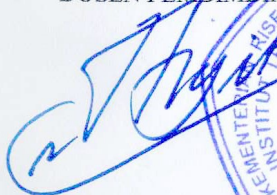
MAHASISWA 2



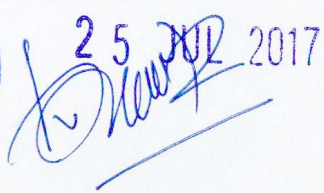
ROSELA ARDILA
NRP. 3114 030 096

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing 1



Dosen Pembimbing 2



25 JUL 2017

Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.Eng.Sc., Ph.D.
NIP. 19630726 198903 1 003

AFIF NAVIR REVANI, ST. MT
NIP. 19840919 201504 1 001



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7 Juli 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).		
Nama Mahasiswa 1	Muhammad Alfiras Azis	NRP	3114030088
Nama Mahasiswa 2	Rosela Ardila	NRP	3114030096
Dosen Pembimbing 1	Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001	Tanda tangan	

URAIAN REVISI		Dosen Penguji
<p>? Cocok tulangan balok induk, apakah benar bisa diterangkan</p> <p>? Cocok tulangan tangga, pakai ulir atau polos. (lihat dan aram T)</p>		
		R. Buyung AA, ST. MT NIP 19740203 200212 1 002
		Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003
		Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001
<p>? Cocok tulangan pelat, pakai ulir atau polos. ✓</p> <p>? Cocok perhitungan perhitungan tdk metode koef. dr tabel B1 ✓</p> <p>? Cocok penggambaran pelat dan balok. ✓</p> <p>? Cocok skemasi penempatan ✓</p>		
		Ir. Munarus Suluch, MS NIP 19550408 198203 1 003

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
R. Buyung AA, ST. MT NIP 19740203 200212 1 002	Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003	Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001	Ir. Munarus Suluch, MS NIP 19550408 198203 1 003

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD NIP 19630726 198903 1 003	 Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diploimasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alfiras Aziz 2 Rosela Ardila
NRP : 1 3114 030 088 2 3114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SRPMM)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, MEng Sc., PhD
 2. Afif Navir, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	16 Februari 2017.	• kolom persegi panjang → untuk memperkuat sisi lemah. Sebaiknya memakai kolom persegi panjang		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Nama program studi tetap DIII, tambahkan Departemen s FV.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Keterangan PPIUG dihilangkan, tapi tetap pakai PPIUG		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Beban lift di bebaskan di balok lantai paling atas.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Tambah 1 lantai, mengikuti judul		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Gempa W pisah juga untuk ruang liftnya (dicoba)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Aksentrisitas lift hanya di atas		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	3 Maret 2017	• Buat daftar isi, di asistensikan, dan harus unt approve-nya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Tambahkan titik apabila lebih dari ratusan (angkanya)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		• Dijabarkan lagi tentang perhitungannya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alfiras Aziz 2 Rosela Ardila
NRP : 1 3114 030 088 2 3114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SRPMH)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. M. Sigit Darmawan, Meng.Sc., PhD
2. Afti Navir, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		• Perhitungan bisa di masukkan di lampiran, dan di urutkan.				
		• Gaya gempa per kolom dibagi per sumbu (gaya gempa sumbu x per kolom) → tambahkan 0,3Fx.		B	C	K
		• Nama kolomnya diganti sumbu as saja				
		• Atau cantumkan keyplan denah kolom dengan nama kolom dan letaknya.		B	C	K
		• Yang di isi, rekapan per lantai.				
		• Perhitungan tetap di lampirkan.		B	C	K
		• Cari literatur untuk perhitungan eksentrisitasnya.				
		•		B	C	K
3.	3 Maret 2017.	• pembebanan di dinding yang tidak ada balok di platnya, dibebankan terpusat ke joint (plat di divide)				
		• Untuk masalah momen plat, pakai perhitungan flat two way, pakai aturan terbaru		B	C	K

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diploimasipil-ta.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

NRP

Judul Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

- : 1 MWh. Alfiras Aziz
 : 1 3114 030 088
 : Perencanaan Ulang Struktur Hotel G lantai di Surabaya
 dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
 (SRPMM)
 : 2 Rosela Ardila
 : 2 3114 030 096
 : 1 Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, MEngSc, PhD
 : 2. Atif Navir, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		- $V_{sway} > V_u \rightarrow$ pakai V_{sway}				
		untuk tulangan geser.				
		- cek apakah bunuh tul.geser,		B	C	K
		V_u nya pakai V_{sway}		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		(tapi harusnya punya balok yang				
		dipakai : coba klasifikasi ke P.sigt)				
		- $V_u < V_e + \frac{1}{2} b_w d$		B	C	K
		ϕ		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		kotau lebih besar dari yang kanan,				
		pakai minimum				
		- $V_{shear} = V_s = \frac{A_v f_y}{b_w s}$		B	C	K
		A_v dulu yang dimasukkan, s		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		nanti ketentu, trs diatur mengguna-				
		kan kondisi dari SNI (hal. 200 SIF)		B	C	K
		- $V_{sway} \rightarrow$ tumpuan : $V_{uSAP} \rightarrow$ lapangan		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alfiras Aziz 2 Kosela Ardila
NRP : 1 3114 030 088 2 3114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SRPMM)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, MEngSc, PhD
 2. Aff Navir, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
4.	20 Maret 2017	- Sortiran daftar isi RENCANA				
		- Lokasi sebulan saja di Surabaya.				
		- Flowchart penulisan dkk ganti keterangannya ke SNI		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Cek kesesuaian antara flowchart (Bab 3) dengan Bab 2. pakai SNI.				
		- Rumusan yang digunakan di Bab 4,		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		masukkan ke Bab 2.				
		- Beban mati dan hidup dijadikan ke skema denah yang berwarna				
		saja.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- lajur kolom = tumpuan				
		lajur tengah = lapangan				
		bedakan positif negatif, lajurnya,				
		dkk.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Masalah momen, tergantung kita				
		menganggap peran struktur				
		tersebut apa, sekunder atau primer				
		- Beban lift masukkan, cari spec-		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		nya. Yang lain jangan relewat				
		- Skema / gambar penataannya				

Ket.
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. Muh. Alifraz Azis 2. Rosela Ardila
NRP : 1. 2114 030 088 2. 2114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SRPMM)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, MEngg PhD
 2. Afif Navir, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		disertakan, agar penjelasan pembe- narannya mudah. (untuk menentukan beban angin, gempa, beban mati, beban hidup dkk) - format gambar tanyakan As/M.		B	C	K
5	6 April 2017	- Bedakan ekstentor / inentor dulu, lalu lagur-ketom atau lagur-tergati - Pakai momen terbesar, bukan jumlah - Rekap momen tambahkan - Gambar penulangan kurang notasi segitiga - Kalau As perlu > As susut, tidak dipakai tulangan susut. - tulangan atas yang menerus dicek thdp As susut, perlu atau tidak memakai susut - wire mass konvensional cuma dipengaruhi dari fy (wire mass > 500) - Kalau pelatnya pakai wire mass, fy = 500 MPa		B	C	K

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipt-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alfiras Azis 2 Rosela Ardila
NRP : 1 3114 030 088 2 3114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penukuk Momen Menengah (SRPMM)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, MEngSc, PhD
 2. Afif Navir Revani, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		- Kalau yang konvensional, perhatikan overlapping tulangan (kalau tulangannya dipotong, bukan di tekuk)		B	C	K
		- ammm: beban untuk tributary $1 \frac{1}{m^2} \rightarrow$ untuk prekom balok		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- beban hidup untuk tangga karena terpusat, coba di beberapa titik. Untuk merata, dikalikan jumlah anak tangga		B	C	K
		- Beban mati tangga seperti hitung plat (dirata-rata saja) ($\times \frac{1}{2} \times$ panjang)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Sloof di atas pile cap, itu pakai kolom pendek. Kalau sejajar, tidak pakai. Lihat jenis tanah juga.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	18 April 2017	- Bandingkan momen di excel dengan yang dari SAP		B	C	K
		- R3 s R4 \rightarrow pemberat (untuk borot yang saat ini)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.
 B : Lebih cepat dari jadwal
 C : Sesuai dengan jadwal
 K : Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS - Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasi-pit-ta.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alifras Aziz 2 Rosela Ardila
NRP : 1 3114 030 088 2 3114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMH)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Sigih Darmawan, MEng Sc., PhD
 2. Afif Navir, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
		- beban lif = beban mati tambahan		
		(kalikan sama faktor berat saja,		
		bukan sama faktor beban)		B C K
		- di permodelan SAP, tambahkan balok		
		lagi, terus dibebankan titik terpusat		
		- lihat potongan di brosur (untuk		
		jarak titik angkat yang dibebankan		B C K
		pada balok) tapi paling minimum		
		1m (antar balok)		
		- Momen yang dipakai untuk tangga		
		yang terpengaruh oleh gravitasi,		B C K
		bukan gempa (kalau jadi sama		
		dengan bangunan SAPnya)		
		- ① per. cross section penulangan plat		
		(har tau overlap)		B C K
7.	4 Mei 2017	- cek lagi yang bagian penulangan		
		geser (terutama Av) → cari Vs		
		dan s (dapat s dari $\frac{Av \cdot fy \cdot d}{s} = Vc$)		B C K
		- lentur → apabila tidak perlu lentur		
		tekan, pasang As' minimum (tekan)		

Ket.
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasi-pi-ds.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alfiras Asiz 2 Rosela Ardila
NRP : 1 2114 030 088 2 2114 030 086
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode sistem Rangka Perukir Momen Menengah (SRPM-M)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawon, MEngSc., PhD
 2. Afif Navir, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		- Kalau cek kecukupan penampang menahan momen puntir tidak memenuhi, coba dimensi baloknya di rubah		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Momen pada balok bordes dan lift yang berlaku adalah kom- binasi tanpa gempa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kolom bagian lentur di kontrol pakai PACOL (cupu untuk geser + aksial)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- kolom kan ada 2 dimensi, bedakan & lampirkan perhitungannya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Desain geser kolom → hitung V_{sway} → dari Mn balok (memakai As pasang) dipilih dari kapasitas momen dan Balok atau kapasitas (V_u) dari SAP (ambil yang besar)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	18 Mei 2014	- penjelasan ulang mengenai perhitungan kolom yang menggunakan SNJ terbaru		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Tertambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diploamatsipit-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

NRP

Judul Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

- : 1 Muh. Alfiras Aziz
: 1 3114 030 088
: Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SRPMN)
: 1 Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc., PhD
: 2 Afif Navir, ST, MT.
: 2 Rosela Archila
: 2 3114 030 086

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
9.	31 Mei 2017	bagian tarik menentukan dan tekan menentukan di bagian kolom pelat lagi dari materi kuliah		B	C	K
		* Apa dimensi kolom untuk lantai keseluruhan tidak disamakan saja?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Dimensi kolom sebaiknya & samakan dengan yang atas		B	C	K
		- baca lagi modul geser.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	31 Mei 2017	- Cek lagi spasi max sengkang sloof dan balok bordes + life		B	C	K
		- At (tulangan puntir) pembagiannya jadi 3 (lihat buku punya Mansur)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kombinasi 1.2D+1.6L tidak perlu perbesaran momen, jadi pakai nonsway		B	C	K
		- Coba kolom lantai 1-2 dimensinya ikut lantai 3-6 ATAU tulangan lantai 12 ikut lantai 3-6, tapi sambungnya di bengkokkan		B	C	K
		- tekan dan tarik menentukan cara hibungnya sama		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Tertambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama
NRP

Judul Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

- : 1 Muh. Alfiras A312
: 1 3114 030 088
: Perencanaan Ulang Struktur Hotel G Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
: 2 Rosela Ardila
: 2 3114 030 096
: 1 Prof. Ir. M. Sigit Darmawang, MEngSc. PhD
: 2 Afif Navir, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
11.	16 Juli	- Persyaratan Ru dan Ag fc... itu coba				
	2017	dibahas lagi: kesemuannya, bertakut				
		unik seluruh kombinasi atau kombinasi;		B	C	K
		tertentu ?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perhitungan tulangan geser SRPMM				
		bukan dari SP SAP, tapi dari				
		kapasitas lentur: pakai rumus		B	C	K
		$V_n = M_n$		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Masalah diameter berapa yang				
		penting sesuai kebutuhan.				
		- Volume total besi → sig cek		B	C	K
		volume beton (dg dimensi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		hasil yang sama).				
		kakau misal 600, ragukan.				
		- Gambarnya kurang besar. Diperiksa		B	C	K
		lagi sudah betul nggak.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Detail tulangan				
		- Gambarnya masih tidak lengkap.				
		beri contoh di masing-masing		B	C	K
		bagian		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Beri denah tangga				

Ket.
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal




KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5939025
<http://www.diplomasiipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Muh. Alfiras Atiz 2 Rosela Ardila
NRP : 1 3114 030 088 2 3114 030 096
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penikul Momen Menengah (SRPM)
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. M. Syih Darmawan, MEngSc, PhD
2. Afif Navir Kevani, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
		- Dibaca lagi buku Iswandi masalah panjang penyaluran dan sambungan		B	C	K
		- hitungan pembengkokan dengan balok dan dicantumkan contoh a-d _h /6 (?)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.	20 Juni 2017	- Gambar tangga kurang detailnya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gambar tangga kurang tampak atas				
		- Balok butuh tulangan samping (tengah) dimensi 30/50.		B	C	K
		- Portal kurang besar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- di portal kurang garis plat				
		- Potongan portal masih kurang standart, cari contoh dari proyek.		B	C	K
		- Gambar tulangan dari kolom ke pile cap masih salah.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- susut ?		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.
B : Lebih cepat dari jadwal
C : Sesuai dengan jadwal
K : Tertambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

NRP

Judul Tugas Akhir

: 1. Muh. Alfians Azre

: 1. 3114 030 088

: 2. Rosela Ardila

: 2. 3114 030 096

: Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Penutupi Monumen Menengah (SRPMU)

1. Prof. Dr. M. Sigit Darmawan, MEngSc. PhD.

Dosen Pembimbing

: 2. Affi Navir Kevani, ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
13	22 Juni 2017	- Daftar gambar				
		- cover				
		- Volume pemberian pelat.				
		- gambar sama tebal tipisnya		B	C	K
		garis gambar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Puntir abaikan, so/60 pakai minimum				
		- gambar harus berisi informasi penting		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Volume pemberian cantumkan semua				
		- Kolomnya (PCACOL) dibanding-		B	C	K
		kan pada satu gambar. Kolom		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		saat ini kurang efisien (over)				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

tenion control

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR HOTEL 6 LANTAI DI SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

Nama Mahasiswa	: 1. Muhammad Alfiras Aziz
	: 2. Rosela Ardila
NRP	: 1. 3114 030 088
	: 2. 3114 030 096
Jurusan	: Diploma III
Departemen	: Teknik Infrastruktur Sipil-FV-ITS
Dosen Pembimbing	: 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD
	: 2. Afif Navir Refani, ST. MT

ABSTRAK

Penyusunan tugas akhir yang berjudul “Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)” ini menggunakan Gedung Hotel Premier Inn Surabaya sebagai objek perencanaan ulang. Perencanaan dan perhitungan gedung ini dibatasi pada bangunan atas yang terdiri dari kolom, balok, pelat, dan tangga. Serta struktur bawah yang terdiri dari sloof.

Pada awalnya, menentukan sistem struktur bangunan apakah sesuai dengan data tanah yang ada apabila menggunakan metode SRPMM. Berikutnya, merencanakan dimensi struktur, dan menghitung pembebanannya. Setelah itu, dihitung penulangan yang diperlukan, baik pada pelat, sloof, balok, dan juga kolom. Tidak lupa digambarkan detail penulangan yang telah dihitung.

Perhitungan yang dilakukan dalam tugas akhir ini mengacu pada peraturan yang ada pada SNI 03-2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2012 tentang ketahanan gempa, dan brosur-brosur yang beredar di masyarakat. Gambar-gambar detail, baik struktur

maupun arsitektur digunakan sebagai acuan dalam perhitungan yang dilakukan. Perhitungan akan diwujudkan berupa laporan perhitungan struktur dan gambar teknik.

Kata kunci : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah, Statik Ekuivalen.

STRUCTURE REDESIGN OF 6 STORY HOTEL AT SURABAYA USING INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM METHOD (SRPMM)

Student's name	: 1. Muhammad Alfiras Aziz : 2. Rosela Ardila
NRP	: 1. 3114 030 088 : 2. 3114 030 096
Major Department	: Diploma III : Civil Infrastructure Engineering-FV-ITS
Supervisor	: 1. Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD : 2. Afif Navir Refani, ST. MT

ABSTRACT

This final project, "Structure Redesign of 6 Story Hotel at Surabaya Using Intermediate Moment Frame System Method" use Premier Inn Hotel Surabaya's building as the object of our redesign try-out. The design and calculation in this final project are given boundaries. For the upper construction, the design and calculation consist of the column, beam, plate, and stair structures, while the structure below only consist of sloof.

First, we need to determine the structure system based on the soil type, is it quillified or not, to use SRPMM. After that, we need to determine the structure's dimention and calculate the load it will carry. Next, calculate the necessity bar for slab, sloof, beam, and column. Don't forget to draw it's detail (shopdrawing).

The calculation for this final project refers to SNI 03-2847-2013, SNI 1726-2012, and some refer to Indonesia Load Custom for Building Structure (PPIUG 1983). The detail drawing, such as structural drawing and architectural drawing are used for the calculation in this final project. The result of the calculation are structural calculation report and shop drawing.



Keywords : Intermediate Moment Frame System Method, Static Equivalent.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji syukur kehadirat Allah Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya penulis telah menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan judul “Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah”.

Tersusunnya tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta motivasi yang telah diberikan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam tugas akhir ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua dan saudara yang telah memberikan dukungan moril, materil serta doa yang senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT.
3. Bapak Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc. PhD dan Bapak Afif Navir Revani, ST. MT, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Segenap dosen dan karyawan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Surabaya
5. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan, doa, serta saran selama penyusunan tugas akhir ini.

Kami menyadari adanya kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka dari itu penulis mengharapkan adanya saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua

Penulis



“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR NOTASI.....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Data Perencanaan	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	1
2.1 Perubahan Desain	5
2.2 Peraturan dan Literatur yang Digunakan	5
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen.....	5
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) 7	
2.5 Pembebanan.....	14
2.6 Kombinasi Pembebanan	35
2.7 Perencanaan Pelat.....	35

2.8	Perencanaan Balok	41
2.9	Perencanaan Kolom.....	48
2.10	Perencanaan Tangga	50
2.11	Perhitungan Volume Pembesian	51
BAB III METODOLOGI.....		56
3.1	Data Perencanaan	57
3.2	Pengumpulan Data.....	57
3.3	Penentuan Sistem Struktur.....	58
3.4	Preliminary Desain	59
3.5	Pembebanan Struktur.....	62
3.6	Analisis Gaya Dalam	63
3.7	Perhitungan Penulangan dan Kontrol Persyaratan Struktur.....	64
3.8	Flow Chart.....	77
3.9	Gambar Rencana	84
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		85
4.1	Perencanaan Dimensi Struktur.....	85
4.2	Perhitungan Struktur.....	98
4.3	Perencanaan Dimensi, Tulangan Pelat dan Tangga ..	114
4.4	Perhitungan Balok	114
4.5	Perhitungan Kolom.....	350
4.6	Perhitungan Volume Pembesian	421
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		447
5.1	KESIMPULAN	447



5.2	SARAN	450
DAFTAR PUSTAKA		447
BIODATA PENULIS		454
<i>LAMPIRAN</i>		454



“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM (SNI-Gambar 47)	10
Gambar 2. 2 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p) (SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1)	32
Gambar 2. 3 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p) (SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1(Lanjutan)).....	33
Gambar 4. 4 Potongan Denah Perencanaan Balok Induk	85
Gambar 4. 5 Potongan Denah Perencanaan Balok Anak	86
Gambar 4. 6 Potongan Denah Perencanaan Kolom	87
Gambar 4. 7 Potongan Denah Perencanaan Sloof	88
Gambar 4. 8 Potongan Denah Perencanaan Pelat yang Ditinjau.	90
Gambar 4. 9 Denah Perencanaan Tangga	94
Gambar 4. 10 Potongan Rencana Tangga.....	95
Gambar 4. 11 Potongan Rencana Tangga diperbesar	95
Gambar 4. 12 Layout Kolom.....	109
Gambar 4. 13 Denah Rencana Plat yang ditinjau untuk arah Y	115
Gambar 4. 14 Denah Momen Plat yang ditinjau.....	118
Gambar 4. 15 Denah Rencana Plat yang ditinjau untuk Arah X	119
Gambar 4. 16 Denah Momen Plat yang ditinjau.....	122
Gambar 4. 17 Penulangan Plat Tipe 1	128
Gambar 4. 18 Denah Rencana Plat yang ditinjau untuk arah Y	129
Gambar 4. 19 Denah Momen Plat yang ditinjau.....	131
Gambar 4. 20 Denah Rencana Plat yang ditinjau untuk Arah X	133
Gambar 4. 21 Denah Momen Plat yang ditinjau.....	135
Gambar 4. 22 Penulangan Plat Tipe 2	141
Gambar 4. 23 Denah Balok Induk yang Ditinjau.....	156
Gambar 4. 24 Tinggi Efektif Balok	157
Gambar 4. 25 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000	158

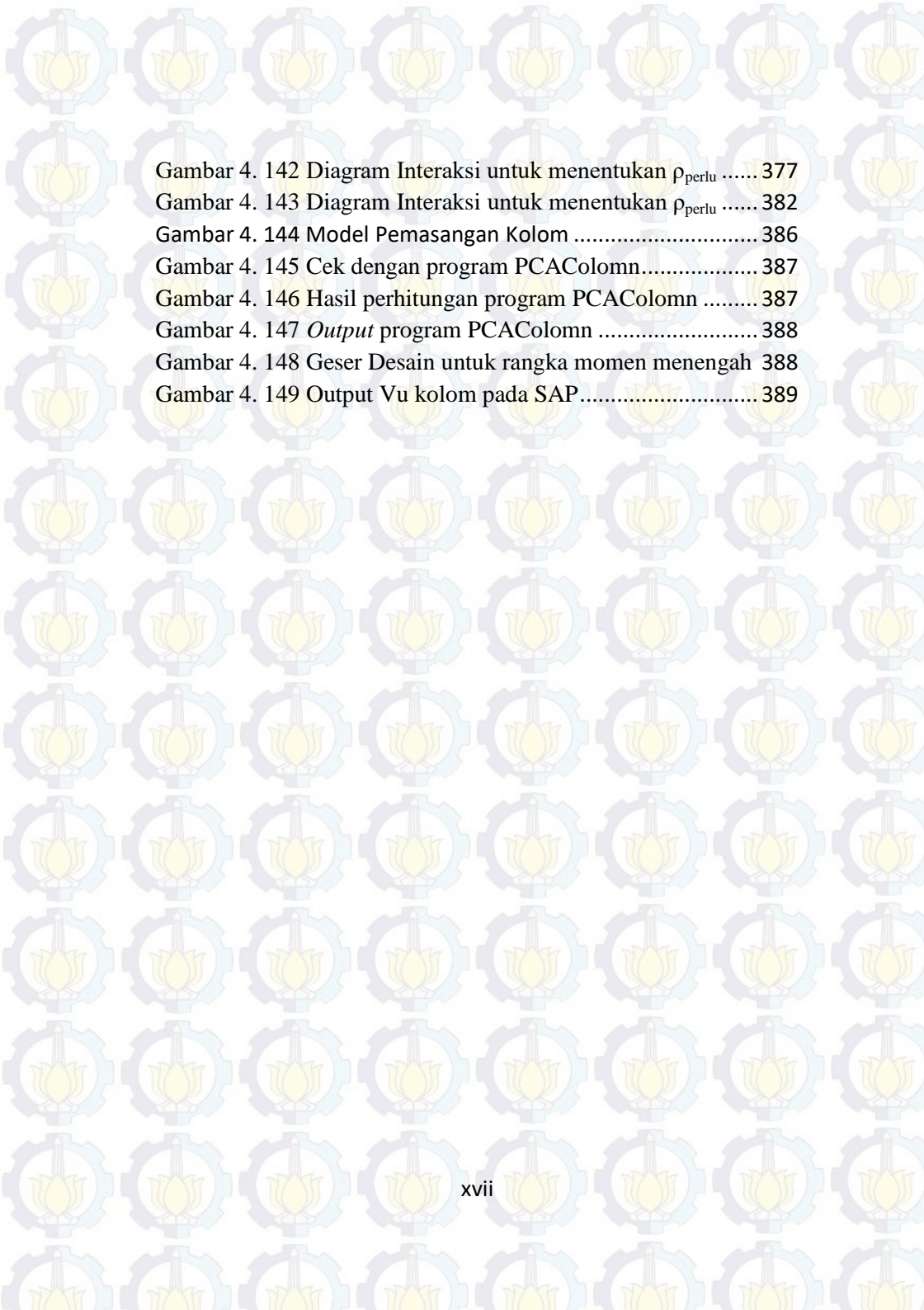
Gambar 4. 26 Output Momen Torsi SAP 2000	158
Gambar 4. 27 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	159
Gambar 4. 28 Output Momen Lentur SAP 2000 Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	159
Gambar 4. 29 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	159
Gambar 4. 30 Output Gaya Geser SAP 2000	159
Gambar 4. 31 Luas Penampang Balok.....	160
Gambar 4. 32 Output Gaya Geser SAP 2000	181
Gambar 4. 33 Detail panjang penyaluran	189
Gambar 4. 34 Penulangan Balok Induk.....	190
Gambar 4. 35 Detail Penulangan Balok Induk	190
Gambar 4. 36 Denah Balok Anak yang Ditinjau	191
Gambar 4. 37 Tinggi Efektif Balok	192
Gambar 4. 38 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000	193
Gambar 4. 39 Output Momen Torsi SAP 2000	193
Gambar 4. 40 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	194
Gambar 4. 41 Output Momen Lentur SAP 2000 Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	194
Gambar 4. 42 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	194
Gambar 4. 43 Output Gaya Geser SAP 2000	194
Gambar 4. 44 Luas Penampang Balok.....	195
Gambar 4. 45 Detail panjang penyaluran	214
Gambar 4. 46 Penulangan Balok Anak.....	215
Gambar 4. 47 Detai Penulangan Balok Anak	215
Gambar 4. 48 Denah Balok Bordes yang Ditinjau	216
Gambar 4. 49 Tinggi Efektif Balok	217
Gambar 4. 50 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000	218

Gambar 4. 51 Output Momen Torsi SAP 2000	218
Gambar 4. 52 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	219
Gambar 4. 53 Output Momen Lentur SAP 2000 Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	219
Gambar 4. 54 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	219
Gambar 4. 55 Output Gaya Geser SAP 2000	219
Gambar 4. 56 Luas Penampang Balok.....	220
Gambar 4. 57 Detail panjang penyaluran	239
Gambar 4. 58 Penulangan Balok Bordes	240
Gambar 4. 59 Detai Penulangan Balok Bordes	240
Gambar 4. 60 Denah Balok Bordes yang Ditinjau	241
Gambar 4. 61 Tinggi Efektif Balok	242
Gambar 4. 62 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000	243
Gambar 4. 63 Output Momen Torsi SAP 2000	243
Gambar 4. 64 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	244
Gambar 4. 65 Output Momen Lentur SAP 2000 Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	244
Gambar 4. 66 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	244
Gambar 4. 67 Output Gaya Geser SAP 2000	244
Gambar 4. 68 Luas Penampang Balok.....	245
Gambar 4. 69 Detail panjang penyaluran	264
Gambar 4. 70 Penulangan Balok Lift.....	265
Gambar 4. 71 Detai Penulangan Balok Lift	265
Gambar 4. 72 Denah Sloof Induk yang Ditinjau	266
Gambar 4. 73 Tinggi Efektif Sloof	267
Gambar 4. 74 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000	268
Gambar 4. 75 Output Momen Torsi SAP 2000	268

Gambar 4. 76 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	268
Gambar 4. 77 Output Momen Lentur SAP 2000 Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	269
Gambar 4. 78 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	269
Gambar 4. 79 Output Gaya Geser SAP 2000	269
Gambar 4. 80 Luas Penampang Balok.....	270
Gambar 4. 81 Output Gaya Geser SAP 2000	289
Gambar 4. 82 Detail panjang penyaluran	297
Gambar 4. 83 Penulangan Sloof Induk	298
Gambar 4. 84 Detai Penulangan Sloof Induk.....	298
Gambar 4. 85 Denah Sloof Anak yang Ditinjau	299
Gambar 4. 86 Tinggi Efektif Sloof	300
Gambar 4. 87 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000	301
Gambar 4. 88 Output Momen Torsi SAP 2000	301
Gambar 4. 89 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	301
Gambar 4. 90 Output Momen Lentur SAP 2000 Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	302
Gambar 4. 91 Output Momen Lentur SAP 2000 Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey	302
Gambar 4. 92 Output Gaya Geser SAP 2000	302
Gambar 4. 93 Luas Penampan Balok	303
Gambar 4. 94 Detail panjang penyaluran	322
Gambar 4. 95 Penulangan Sloof Anak	323
Gambar 4. 96 Detai Penulangan Sloof Anak.....	323
Gambar 4. 97 Output Gaya Aksial SAP 2000	325
Gambar 4. 98 Output Gaya Aksial SAP 2000	325
Gambar 4. 99 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	326

Gambar 4. 100 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	326
Gambar 4. 101 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	326
Gambar 4. 102 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	327
Gambar 4. 103 Grafik <i>alignment</i> SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7	329
Gambar 4. 104 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}	331
Gambar 4. 105 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}	336
Gambar 4. 106 Model Pemasangan Kolom	340
Gambar 4. 107 Cek dengan program PCAColmn.....	341
Gambar 4. 108 Hasil perhitungan program PCAColmn	341
Gambar 4. 109 <i>Output</i> program PCAColmn	342
Gambar 4. 110 Geser Desain untuk rangka momen menengah	342
Gambar 4. 111 Output V_u kolom pada SAP	343
Gambar 4. 112 Output Gaya Aksial SAP 2000	346
Gambar 4. 113 Output Gaya Aksial SAP 2000	347
Gambar 4. 114 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex + 0,3 Ey	347
Gambar 4. 115 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=3) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex + 0,3 Ey	347
Gambar 4. 116 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex + 0,3 Ey	348
Gambar 4. 117 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=3) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex + 0,3 Ey	348
Gambar 4. 118 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	349
Gambar 4. 119 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	349
Gambar 4. 120 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	349

Gambar 4. 121 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	349
Gambar 4. 122 Grafik <i>alignment</i> SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7	352
Gambar 4. 123 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}	354
Gambar 4. 124 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}	359
Gambar 4. 125 Model Pemasangan Kolom	363
Gambar 4. 126 Cek dengan program PCAColumn.....	364
Gambar 4. 127 Hasil perhitungan program PCAColumn	364
Gambar 4. 128 <i>Output</i> program PCAColumn	365
Gambar 4. 129 Geser Desain untuk rangka momen menengah	365
Gambar 4. 130 Output V_u kolom pada SAP.....	367
Gambar 4. 131 Output Gaya Aksial SAP 2000	370
Gambar 4. 132 Output Gaya Aksial SAP 2000	370
Gambar 4. 133 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey	371
Gambar 4. 134 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=3) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey	371
Gambar 4. 135 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey	371
Gambar 4. 136 Output Momen <i>Sway</i> SAP 2000 (h=3) Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey	371
Gambar 4. 137 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	372
Gambar 4. 138 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	372
Gambar 4. 139 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	372
Gambar 4. 140 Output Momen <i>Non-Sway</i> SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L	373
Gambar 4. 141 Grafik <i>alignment</i> SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7	375



Gambar 4. 142 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}	377
Gambar 4. 143 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}	382
Gambar 4. 144 Model Pemasangan Kolom	386
Gambar 4. 145 Cek dengan program PCAColomn.....	387
Gambar 4. 146 Hasil perhitungan program PCAColomn	387
Gambar 4. 147 <i>Output</i> program PCAColomn	388
Gambar 4. 148 Geser Desain untuk rangka momen menengah	388
Gambar 4. 149 Output V_u kolom pada SAP.....	389



“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.....	6
Tabel 2. 2 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung	11
Tabel 2. 3 Lendutan Izin Maksimum yang Dihitung	11
Tabel 2. 4 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior	12
Tabel 2. 5 Klasifikasi Situs.....	15
Tabel 2. 6 Koefisien Situs (F_a).....	17
Tabel 2. 7 Koefisien Situs (F_v).....	17
Tabel 2. 8 Kategori Risiko.....	18
Tabel 2. 1 Faktor Keutamaan Gempa	18
Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	19
Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	19
Tabel 2. 12 Koefisien untuk Batasan Atas pada Perioda yang Dihitung (C_u)	20
Tabel 2. 13 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.....	21
Tabel 2. 14 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es.....	23
Tabel 2. 15 Faktor Arah Angin (K_d)	25
Tabel 2. 16 Faktor Topografi (K_{zt})	27
Tabel 2. 17 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi}).....	28
Tabel 2. 18 Konstanta Eksposur Daratan.....	29
Tabel 2. 19 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_h dan K_z)	30
Tabel 2. 20 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung	36
Tabel 2. 21 Tebal Minimum untuk Pelat Satu Arah	37

Tabel 2. 22 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior SNI-Tabel 10)	38
Tabel 2. 23 Persyaratan Pelindung Beton untuk Tulangan (Non-Prategang)	41
Tabel 2. 24 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir.....	46
Tabel 2. 25 Panjang Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik	52
Tabel 2. 26 Berat Besi	55
Tabel 4. 1 Rekapitulasi <i>Preliminary Design</i> yang digunakan.....	97
Tabel 4. 2 Perhitungan Klasifikasi Situs.....	104
Tabel 4. 3 Tabel S_{DS}	106
Tabel 4. 4 Tabel S_{DI}	106
Tabel 4. 5 Berat Struktur Per Lantai	107
Tabel 4. 6 Contoh pengerjaan.....	108
Tabel 4. 7 Gaya Geser Per Lantai	109
Tabel 4. 8 Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai 1,2,3,.....	110
Tabel 4. 9 Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai 4,5,6.....	111
Tabel 4. 10 Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai 7.....	112
Tabel 4. 11 Rekap Momen	123
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Tulangan	127
Tabel 4. 13 Rekap Penulangan Plat Tanga dan Bordes.....	155
Tabel 4. 14 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal .	343
Tabel 4. 15 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal .	366
Tabel 4. 16 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal .	389
Tabel 4. 17 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal .	392
Tabel 4. 18 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal .	393
Tabel 4. 19 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal .	393
Tabel 4. 20 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian I .	392
Tabel 4. 21 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian II	392
Tabel 4. 22 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian III	393

Tabel 4. 23 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian IV	393
Tabel 4. 24 Rekapitulasi Rasio Pembesian	394
Tabel 4. 25 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian I.	395
Tabel 4. 26 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian II	395
Tabel 4. 27 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian III	396
Tabel 4. 28 Contoh Perhitungan Volume Pembesian Bagian IV	396
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Rasio Pembesian	397



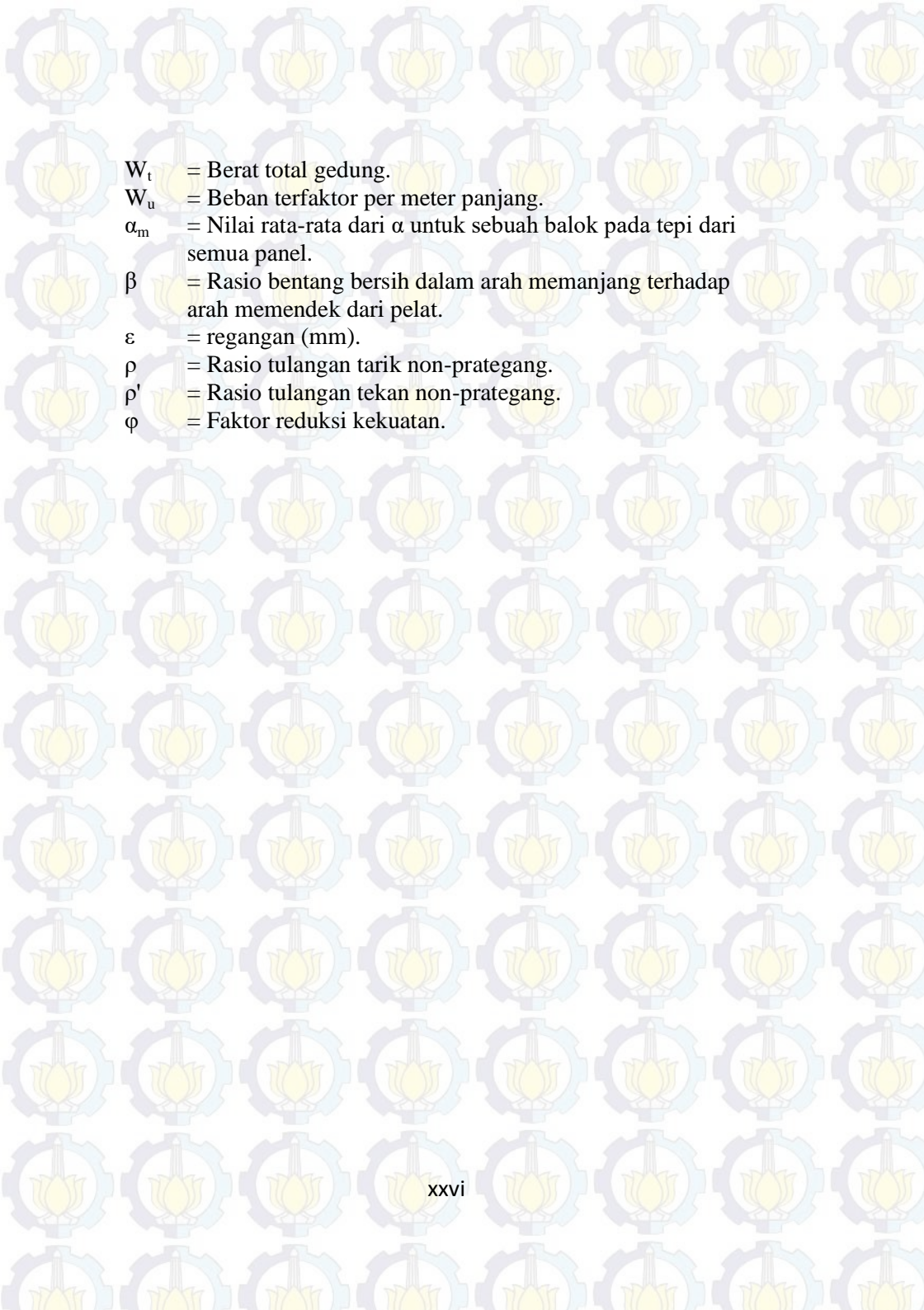
“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

- \bar{N} = Nilai Rata-rata berbobot hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah di atas dasar batuan dasar dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya.
- A_g = Luas bruto penampang (mm^2).
- $A_{s \min}$ = Luas minimum tulangan lentur (mm^2).
- A_s = Luas tulangan tarik non-prategang (mm^2).
- A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2).
- A_v = Luas tulangan geser (mm^2).
- b = Lebar muka tekan komponen struktur (mm).
- b_w = Lebar badan (mm).
- C_u = Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung.
- C_v = Faktor respons gempa vertikal untuk mendapatkan beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen pada unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan tinggi terhadap gravitasi.
- d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).
- d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan.
- d_b = diameter tulangan (mm).
- d_i = Tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter.
- DL = Dead Load (beban mati).
- e = Eksentrisitas gaya terhadap sumbu (mm).
- E_c = Modulus elastisitas beton.
- E_{cs} = Modulus elastisitas pelat beton.
- EI = Kekakuan lentur komponen struktur tekan (N-mm^2).
- ES = Modulus elastisitas tulangan (MPa).
- F_a = Koefisien situs periode 0,2 detik.
- f_c' = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa).
- F_v = Koefisien situs periode 1 detik.
- f_y = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang (MPa).
- h = Tinggi total komponen struktur (mm).

- I_b = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok.
 I_e = Faktor keutamaan gempa.
 I_g = Momen inersia penampang bruto beton terhadap sumbu pusat penampang, dengan mengabaikan tulangan (mm^4).
 I_s = Momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat.
 k = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan.
 l_d = Panjang Penyaluran (mm).
 LL = Live Load (beban hidup)
 l_n = Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif.
 M_1 = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan, bernilai positif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan tunggal, negatif bila komponen struktur melentur dengan kelengkungan ganda (N-mm).
 M_2 = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan, selalu bernilai positif (N-mm).
 M_c = Momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan (N-mm).
 M_{lx} = Momen lapangan arah x.
 M_{ly} = Momen lapangan arah y.
 M_{tx} = Momen tumpuan arah x.
 M_{ty} = Momen tumpuan arah y.
 M_u = Momen terfaktor pada penampang (N-mm^2).
 N_i = Tahanan Penetrasi Standar 60 persen energy (N60) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi.
 P_b = Kuat beban aksial nominal dalam kondisi regangan seimbang (N).
 P_c = Beban kritis (N).
 P_n = Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan.
 P_u = Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan $< \phi P_n$.

- R = Koefisien modifikasi respon.
 S = Jarak sengkang (mm).
 S_1 = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
 S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
 S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen.
 S_{M1} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
 S_{max} = Jarak maksimum antar tulangan sengkang (mm).
 S_{max} = Jarak maksimum sengkang yang diizinkan (mm).
 S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas.
 S_s = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek, redaman 5 persen.
 T = Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.
 T_a = Periode fundamental pendekatan.
 T_c = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.
 T_u = Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm).
 V = Beban (gaya) geser dasar nominal static ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut.
 V_c = Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton.
 V_n = Kuat geser nominal (N).
 V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N).
 V_u = Gaya geser terfaktor pada suatu penampang (N).

- 
- W_t = Berat total gedung.
 W_u = Beban terfaktor per meter panjang.
 α_m = Nilai rata-rata dari α untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel.
 β = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat.
 ε = regangan (mm).
 ρ = Rasio tulangan tarik non-prategang.
 ρ' = Rasio tulangan tekan non-prategang.
 ϕ = Faktor reduksi kekuatan.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung merupakan suatu konstruksi yang berfungsi sebagai lokasi berlangsungnya aktivitas sehari-hari seperti bekerja, ataupun tempat tinggal. Saat ini, manusia memerlukan bangunan yang kokoh dan dapat meminimalisir angka kerusakan akibat bencana.

Dalam tugas akhir ini, gedung yang akan direncanakan ulang perhitungannya adalah Hotel Premier Inn Surabaya, berfungsi sebagai gedung tempat tinggal/penginapan. Gedung ini tersusun atas 11 lantai dengan ketinggian 32 meter. Akan tetapi untuk keperluan Tugas Akhir Program DIII Teknik Sipil, digunakan 6 lantai, dari lantai 1 sampai dengan lantai 6 dan menggunakan struktur atap *deck* beton.

Dalam Tugas Akhir ini, penulis menggunakan SNI 03-2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) sebagai acuan dalam perencanaan ulang struktur bangunan. Penulis mengambil tema perencanaan ulang struktur dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang merupakan metode penitik berat pada perhitungan mutu yang bisa menyebabkan keruntuhan bangunan. Untuk meminimalisir angka kerusakan akibat bencana pada bangunan gedung, direncanakan bangunan gedung tahan gempa menggunakan SNI 1726:2012 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung) dan menggunakan metode statik ekuivalen.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya

dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) ini, terdapat beberapa rumusan masalah yang ditinjau, antara lain:

1. Bagaimana menentukan sistem struktur suatu bangunan sesuai Standart Nasional Indonesia (SNI)?
2. Bagaimana cara merencanakan struktur beton bertulang Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)?
3. Bagaimana mengaplikasikan hasil perhitungan perencanaan ulang struktur beton bertulang Hotel 6 Lantai di Surabaya kedalam bentuk laporan dan gambar teknik?
4. Bagaimana cara menghitung volume tulangan kolom dan balok pada satu portal memanjang dan satu portal melintang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir Terapan Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) ini adalah :

1. Perencanaan ulang struktur gedung ini tidak menghitung pondasi ataupun basement.
2. Perencanaan ulang struktur gedung ini hanya meninjau struktur bangunan, tidak meninjau analisa biaya, manajemen konstruksi, ataupun segi arsitektural.
3. Perhitungan beban gempa menggunakan analisis statis ekuivalen dengan peta gempa periode ulang 500 tahun.
4. Menampilkan gambar *bar bending* dan perhitungan volume penulangan dua portal, satu portal memanjang dan satu portal melintang.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir Terapan Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) ini antara lain adalah :

1. Mengetahui cara perhitungan struktur beton bertulang Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Mengetahui cara perhitungan volume tulangan kolom dan balok pada satu portal memanjang dan satu portal melintang.
3. Menuangkan hasil perhitungan struktur dan perhitungan volume tulangan kolom dan balok ke dalam bentuk gambar teknik.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penulisan Tugas Akhir Terapan ini yaitu :

1. Mahasiswa mampu meningkatkan kemampuan dalam perencanaan struktur beton bangunan gedung menggunakan aturan perencanaan Standar Nasional Indonesia.
2. Mahasiswa mampu mengaplikasikan ilmu yang didapat saat kuliah, berkaitan dengan teori perencanaan struktur beton menggunakan data gedung yang nyata.
3. Sebagai sarana melatih kemampuan dalam menghadapi dunia kerja.

1.6 Data Perencanaan

a. Data Bangunan

1. Jenis Gedung : Hotel
2. Lokasi Gedung : Surabaya.

3. Tinggi Bangunan : 16.3 m
4. Jumlah Lantai : 6
5. Struktur Atap : Deck Beton.
6. Struktur Bangunan Atas : Menggunakan beton bertulang.
7. Struktur Bangunan Bawah : Pondasi Bore Pile

b. Data Bahan

1. Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
2. Mutu baja (f_y) : 400 MPa (untuk tulangan lentur)
3. Mutu baja (f_y) : 240 MPa (untuk tulangan geser)

c. Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah data tanah dari laboratorium seperti yang terlampir. (Data tanah diambil di Surabaya, untuk lokasi hotel ditetapkan juga di Surabaya, tetapi perhitungan KDS menggunakan peta gempa 500 tahun)

BAB II

LANDASAN TEORI

Tinjauan pustaka dalam Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut:

2.1 Perubahan Desain

Perubahan bentuk asli bangunan dilakukan untuk menghargai desain yang telah direncanakan dan untuk menghindari penjiplakan. Perubahan yang dilakukan pada tugas akhir Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya ini ialah sebagai berikut:

- a. Pada Hotel Premier Inn Surabaya, memiliki 11 (sebelas) lantai yang dimodifikasi menjadi 6 (enam) lantai.
- b. Pada denah asli digunakan basement sebagai lokasi parkir, dan pada perencanaan tugas akhir ini diubah menjadi tanpa basement dan lokasi parkir.
- c. Dimensi struktur, mutu beton, maupun mutu tulangan baja dirubah, sesuai perhitungan yang dilakukan.

2.2 Peraturan dan Literatur yang Digunakan

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 - 2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012)
3. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)
4. Desain Beton Bertulang oleh CHU-KIA WANG G. SALMON

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral

dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, telah ditetapkan dalam Standart Nasional Indonesia Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk bangunan gedung, bahwa sistem rangka pemikul momen dibagi dalam 3 (tiga) kelas yaitu

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pada perhtitangan SNI Gempa 1726-2012 ketiga jenis sitem rangka dibedakan juga oleh koefisien modifikasi respons (R^a), faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran defleksi. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Tabel 2. 1 Faktor untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^e	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_x (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24 Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25 Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26 Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^j	TI ^j
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

(SNI 1726-2012 pasal 7.2.2 tabel 9)

Pada perencanaan bangunan gedung Hotel 6 Lantai di Surabaya ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) di mana semua rangka

struktur bangunan memikul beban gravitasi dan beban lateral yang diakibatkan oleh beban gempa sedang.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Syarat-syarat dan perumusan yang dipakai pada perencanaan komponen struktur dengan sistem rangka pemikul momen menengah menurut SNI-03-2847-2013 pasal 21.3:

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi tulangan balok, bila gaya tekan aksial tekan terfaktor P_u pada komponen struktur tidak melebihi $(A_g f_c' / 10)$. Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi $(A_g f_c' / 10)$, maka detail tulangan rangka harus memenuhi tulangan kolom.
2. Bila sistem slab dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem penahan gaya gempa, detail tulangan pada sebarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh pengaruh gempa E harus memenuhi tulangan slab dua arah tanpa balok
3. Kuat geser rencana balok, sebagai penahan pengaruh gempa E , harus lebih besar dari:
 - a. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n , balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
 - b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.
4. Kuat geser rencana kolom, sebagai penahan pengaruh gempa E , harus lebih besar dari:

- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan E , dengan E ditingkatkan oleh Ω_0 .

a. Balok

Balok merupakan elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser.

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pada tumpuan tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- (a) $d/4$;
- (b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
- (c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
- (d) 300 mm.

Sedangkan sengkang pada lapangan harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok sesuai pasal 21.3.4.3 SNI 2847-2013.

b. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko dalam PU, 1996).

Kolom harus ditulangi secara spiral, dimana tulangan spiral harus terdiri dari batang tulangan atau kawat menerus yang berspasi sama dari ukuran yang sedemikian dan digabungkan sedemikian rupa.

Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_0 sepanjang panjang l_0 diukur dari muka joint. Sesuai dengan pasal 21.3.5.2 SNI 2847-2013, spasi s_0 tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- a. Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilindungi
- b. 24 kali diameter batang tulangan begel
- c. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- d. 300 mm

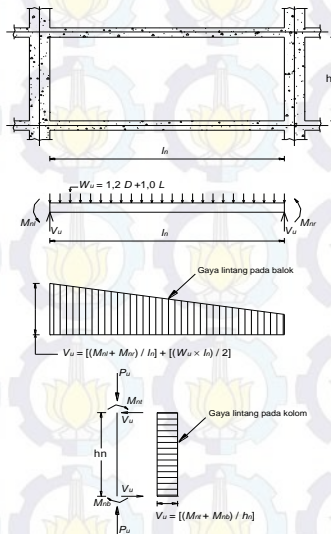
Panjang l_0 tidak boleh lebih kecil dari yang terbesar dari :

- a. Seperenam bentang bersih kolom
- b. Dimensi penampang maksimum kolom
- c. 450 mm

Sengkang tertutup pertama ditempatkan tidak lebih dari $s_0/2$ dari muka joint. Diluar panjang l_0 , spasi tulangan transversal harus memenuhi SNI 2847 2013 pasal 7.10 dan 11.4.5.1 yang menjelaskan bahwa spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak

boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non-prategang dan $0,75h$ pada komponen struktur prategang, ataupun 600 mm.

Tulangan transversal joint harus memenuhi SNI 2847-2013 Pasal 11.10. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_0 yang telah disyaratkan, sepanjang tinggi penuh dibawah tingkat-dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $(A_g f_c' / 10)$. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $(A_g f_c' / 10)$ harus ditingkatkan menjadi $(A_g f_c' / 4)$. Tulangan transversal ini harus menerus diatas dan dibawah kolom seperti yang disyaratkan dalam SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.6(b).



Gambar 2. 1 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM (SNI-Gambar 47)

c. Pelat

Ketebalan pelat dihitung dengan memperhatikan lendutan minimum berdasarkan SNI 2847-2013. Kontruksi plat terbagi menjadi 2 jenis yaitu konstruksi pelat satu arah dan konstruksi pelat dua arah.

Tabel 2. 2 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$
CATATAN: Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk f_c selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_c/700)$.				

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2 tabel 9.5(a))

Untuk persyaratan konstuksi pelat dua arah, yaitu :

Tabel 2. 3 Lendutan Izin Maksimum yang Dihitung

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$\ell/180^*$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup L	$\ell/360$
Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) [†]	$\ell/480^{\ddagger}$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$\ell/240^{\S}$
<p>*Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut (<i>camber</i>), toleransi konstruksi, dan keandalan sistem drainase.</p> <p>[†]Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 9.5.2.5 atau 9.5.4.3, tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktur. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.</p> <p>[‡]Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.</p> <p>[§]Batas lendutan tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.</p>		

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.1 tabel 9.5(b))

Untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan

Tabel 2. 4 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa [†]	Tanpa penebalan [‡]			Dengan penebalan [‡]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$
<p>[†]Untuk konstruksi dua arah, f_y adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.</p> <p>[‡]Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.</p> <p>[§]Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.</p> <p>[§]Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_e untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.</p>						

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c))

- b. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{t_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3)

dan tidak boleh kurang dari 125mm;

- c. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{t_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3)

dan tidak boleh kurang dari 90mm.

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_r tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. Poin (b) atau poin (c) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Bagian l_n dalam (b) dan (c) adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok. Bagian β dalam (b) dan (c) adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

d. Penyaluran dan Sambungan Tulangan

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penyaluran.

- Penyaluran tulangan momen positif.
Paling sedikit sepertiga tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana, dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus

diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus diteruskan ke dalam paling sedikit 150 mm.

(SNI 2847-2013 pasal 12.11)

- Penyaluran tulangan momen negatif.
Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari:
 - a. D
 - b. $12d_b$
 - c. $L_n/16$

Dimana diambil nilai terbesar dari ketiga persamaan diatas.

(SNI 2847-2013 pasal 12.12)

2.5 Pembebanan

Pada suatu struktur gedung mempunyai beban-beban yang dipikul oleh bangunan tersebut, baik beban tetap maupun tidak tetap. Dalam penentuan beban yang terjadi pada bangunan, menurut ketentuan dibedakan sebagai berikut :

1. Beban Mati

Dalam menentukan beban mati struktur bangunan sebagai berikut:

- a. Beban mati pada pelat atap, terdiri dari:
 - Berat sendiri pelat
 - Beban plafond dan rangka penggantung
 - Beban waterproof
 - Beban instalasi listrik
 - Beban perpipaan
- b. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari:
 - Berat sendiri pelat
 - Beban pasangan keramik

- Beban spesi
- Beban plafond dan rangka
- Beban instalasi listrik
- Beban perpipaian

c. Beban mati pada balok, terdiri dari:

- Berat sendiri balok
- Beban mati pada plat
- Berat dinding bata ringan

2. Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727-2013 beban hidup untuk proyek Hotel 6 Lantai di Surabaya adalah :

- Beban hidup untuk atap Apartemen/Hotel = 96 kg/m^2
- Beban hidup untuk lantai Apartemen/Hotel = 192 kg/m^2
- Beban hidup untuk lantai Kantor = 240 kg/m^2
- Beban hidup untuk lantai Lobby Apartemen/Hotel = 479 kg/m^2
- Beban hidup di tangga terdiri dari beban tangga dan bordes, beban pegangan (terpusat), dan beban susuran tangga

3. Beban Gempa

Beban Gempa adalah semua beban dinamis yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamis, maka yang diartikan dengan gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Dalam perencanaan beban gempa pada gedung Hotel 6 Lantai di Surabaya dihitung dengan menggunakan metode statik ekuivalen :

- a. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata (N_{SPT}) sesuai SNI 1726:2012

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

- b. Dari nilai N_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel 2.2.1 berikut sesuai SNI 1726:2012

Tabel 2. 5 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas $PI > 20$, 2. Kadar air , $w \geq 40 \%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ Kpa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : -Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah -Lempung sangat organic dan / atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

spesifik- situs yang mengikuti 6.10.1)	-Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa
--	--

c. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (gempa 500 tahun)

d. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan tabel 2.2.2 dan tabel 2.2.3 berikut sesuai dengan SNI 1726:2012

Tabel 2. 6 Koefisien Situs (F_a)

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa MCEr terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_1 \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Catatan : Untuk nilai S_s dapat dilakukan interpolasi linier

Tabel 2. 7 Koefisien Situs (F_v)

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa MCEr terpetakan periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5

SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 5

- e. Menentukan Parameter Spektrum Respons percepatan pada perioda 0,2 detik (S_{MS}) sesuai SNI 1726:2012

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

- f. Menentukan Parameter Spektrum Respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}) sesuai SNI 1726:2012.

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

- g. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 0,2 detik sesuai SNI 1726:2012.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

- h. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik sesuai SNI 1726:2012.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

- i. Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan gempa (I) struktur bangunan sesuai SNI 1726:2012 bisa dilihat pada tabel 2.2.4 dan 2.2.5 dibawah ini :

Tabel 2. 8 Kategori Risiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Pasar - Gedung perkantoran 	II

<ul style="list-style-type: none"> - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	
--	--

Tabel 2. 9 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I_e</i>)
II	1,0

- j. Kemudian mencari KDS untuk lokasi bangunan tersebut sesuai SNI 1726:2012 pada tabel 2.2.6 dan tabel 2.2.7 dibawah ini

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai <i>SDS</i>	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS \leq 0,50$	C	D
$0,33 \leq SDS$	D	D

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 6

Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai <i>SDI</i>	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV

$SDI < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDI \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq SDI \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDI$	D	D

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 7

- k. Kemudian menentukan besar perioda fundamental struktur (T) pada suatu bangunan sesuai SNI 1726:2012 pada pasal 7.8.2

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dimana :

h_n = Tinggi bangunan (m)

C_t = 0,0466

X = 0,9

- l. Hitung koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u)

Tabel 2. 12 Koefisien untuk Batasan Atas pada Perioda yang Dihitung (C_u)

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 Detik, SDI	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 14

- m. Cek nilai (T_c) periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisa struktur

n. Periode fundamental struktur yang digunakan

$$\text{Jika } T_c > C_u \cdot T_a \quad \rightarrow T = C_u \cdot T_a$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u \cdot T_a \quad \rightarrow T = T_c$$

$$\text{Jika } T_c < T_a \quad \rightarrow T = T_a$$

o. Menentukan nilai koefisien modifikasi respon (R) sesuai SNI 1726:2012 diuraikan pada tabel 2.2.9 dibawah ini :

Tabel 2. 13 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon R	Faktor Kuat-lebih sistem, Ω_0	Faktor Pembebanan Defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
6. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 9

p. Menghitung koefisien respons seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R \cdot I_e}$$

q. Menentukan T_0 dan T_s

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

r. Membuat respons spektrum gempa sesuai SNI 1726:2012 pasal 6.4.1.

- Untuk perioda lebih kecil T_0 , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain SNI 1726:2012 pasal 6.4.2:

$$S_a = S_{DS}$$

- Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

s. Menghitung gaya geser dasar seismik (V) sesuai SNI 1726-2012.

$$V = C_s \times W$$

t. Menghitung gaya geser dasar seismik per lantai (F) sesuai SNI 1726-2012.

$$F_x = C_{vx} \times V$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \times h_i^k}$$

4. Beban Hujan

Menurut SNI 1727-2013 pasal 8.3 setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah dengan beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air diatas

lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

$$R = 0,0098 (d_s + d_h) \quad (\text{SNI 1727-2013 pasal 8.3})$$

Dengan,

R = beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam satuan kN/m². Apabila istilah atap yang tidak melendut digunakan, lendutan dari beban (termasuk beban mati) tidak perlu diperhitungkan ketika menentukan jumlah air hujan pada atap.

d_s = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam satuan mm.

d_h = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik), dalam satuan mm.

5. Beban Angin

Beban angin merupakan semua beban yang bekerja pada suatu gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin dihitung berdasarkan SNI 1727-2013 Tabel 27.2-1. Dalam hal ini beban angin disimbolkan dengan W .

a. Kategori risiko bangunan

Tabel 2. 14 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka	II

terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV	
<p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.</p>	III
<p>Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis^a.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.</p>	IV

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 1.5-1

Catatan:

*Jenis bangunan sesuai dengan Tabel 1 SNI 1726-2012

^a Bangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap Kategori Risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya. Pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan Kategori Risiko.

b. Kecepatan angin dasar (V)

Kecepatan angin dasar dan arah angin didapatkan dari BMKG Jawa Timur (<http://meteo.bmkg.go.id>)

c. Parameter beban angin

- Faktor arah angin (K_d)
Faktor arah angin, K_d , harus ditentukan dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. 15 Faktor Arah Angin (K_d)

Tippe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.6-1

* Faktor arah *K_d* telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2.

Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.

- Kategori eksposur
 - **Eksposur B:** Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500ft (457m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30ft (9,1m), Eksposur B berlaku bila mana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.
 - **Eksposur C:** Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau D tidak berlaku.
 - **Eksposur D:** Eksposur D berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah, sebagai mana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bila mana kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600ft (183m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara katagori exposure, harus menggunakan hasil katagori di gaya angin terbesar.

- **Pengecualian:** Eksposur menengah antara kategori sebelumnya diperbolehkan di zona transisi asalkan itu ditentukan oleh metode analisis rasional yang dijelaskan dalam literatur dikenal.
- Faktor topografi (K_{zt})
Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

di mana K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam tabel di bawah ini. Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan, $K_{zt} = 1,0$.

Tabel 2. 16 Faktor Topografi (K_{zt})

Parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing						
Bentuk bukit	$K1/(H/Lh)$			γ	μ	
	Eksposur				Sisi angin datang dari puncak	Sisi angin pergi dari puncak
	B	C	D			
Bukit memanjang 2-dimensi (atau lembah dengan negatif H dalam $K1/(H/Lh)$)	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

Sumber: SNI 1727-2013 Pasal 26.8.2

- Faktor efek tiupan angin (G)
 - Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.
 - Untuk menentukan apakah suatu bangunan gedung atau struktur lain adalah kaku atau fleksibel, frekuensi alami fundamental, n_1 , harus ditetapkan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang dibuktikan secara benar. Bangunan bertingkat rendah diizinkan untuk dianggap kaku.
- Klasifikasi ketertutupan

Untuk menentukan koefisien tekanan internal, semua bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, tertutup sebagian, atau terbuka. Jika sebuah bangunan memenuhi definisi bangunan "terbuka" dan "tertutup sebagian", harus diklasifikasikan sebagai bangunan "terbuka". Suatu bangunan yang tidak memenuhi definisi bangunan "terbuka" atau "tertutup sebagian" harus diklasifikasikan sebagai bangunan "tertutup".
- Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan Internal, (GC_{pi}), harus ditentukan dari Tabel di bawah ini berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung.

Tabel 2. 17 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.11-1

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal
2. Nilai ($GCpi$) harus digunakan dengan q_z atau q_h seperti yang ditetapkan
3. Dua kasus harus dipertimbangkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:

- (i) Nilai positif dari ($GCpi$) diterapkan untuk seluruh permukaan internal
- (ii) Nilai negatif dari ($GCpi$) diterapkan untuk seluruh permukaan internal

d. Koefisien eksposur tekanan velositas (K_z atau K_h)

Berdasarkan kategori eksposur yang telah ditentukan, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h , sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel di bawah ini. Untuk situs yang terletak di zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, diizinkan untuk menggunakan nilai menengah dari K_z atau K_h , asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang tercantum dalam literatur yang dikenal.

Tabel 2. 18 Konstanta Eksposur Daratan

Eksposur	α	Z_0 (ft)	\hat{a}	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (ft)	Dalam metrik	
									$\bar{\epsilon}$	Z_{min} (m)*
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

* Z_{min} = tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekuivalen \bar{z} yang lebih besar dari 0,6h atau Z_{min} .

Untuk bangunan gedung dengan $h \leq Z_{min}$, \bar{z} harus diambil sebesar Z_{min} .

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 26.9-1

Tabel 2. 19 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_h dan K_z)

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

Catatan:

1. Koefisien eksposur tekanan velositas K_z dapat ditentukan dari formula berikut:
Untuk $15 \text{ ft.} \leq z \leq z_g$ Untuk $z < 15 \text{ ft.}$

$$K_z = 2,01(z/z_g)^{2\alpha} \quad K_z = 2,01(15/z_g)^{2\alpha}$$

2. α dan z_g ditabulasi dalam Tabel 26.9.1.

3. Interpolasi linier untuk nilai menengah tinggi z yang sesuai.

4. Kategori eksposur yang ditetapkan dalam Pasal 26.7

Sumber: SNI 1727-2013 Tabel 27.3-1

e. Tekanan velositas (q atau q_h)

Tekanan velositas, q_z , dievaluasi pada ketinggian harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_z = 0,00256 K_z K_{zt} K_d V_2^2 (lb/ft^2)$$

[Dalam SI: $q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V_2^2 (N/m^2)$; V dalam m/s]

di mana:

K_d = faktor arah angin

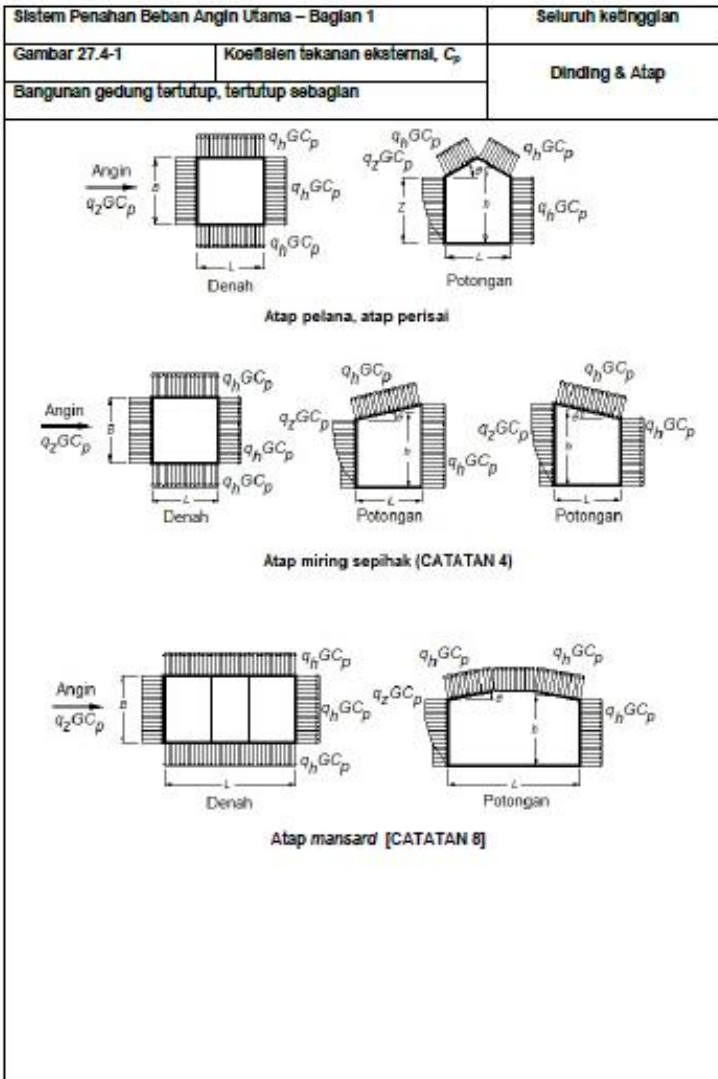
K_z = koefisien eksposur tekanan velositas

K_{zt} = faktor topografi tertentu

V = kecepatan angin dasar
 q_z = tekanan velositas dihitung pada ketinggian z
 q_h = tekanan velositas dihitung pada ketinggian atap rata-rata h .

Koefisien numerik 0,00256 (0,613 dalam SI) harus digunakan kecuali bila ada data iklim yang tersedia cukup untuk membenarkan pemilihan nilai yang berbeda dari koefisien ini untuk aplikasi desain.

Sumber: SNI 1727-2013 Pasal 27.3.2

f. Koefisien tekanan eksternal (C_p atau C_N)

Gambar 2. 2 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p) (SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1)

Sistem Penahan Beban Angin Utama – Bagian 1

Gambar 27.4-1 (Lanjutan)	Koefisien tekanan eksternal, C_p	Dinding dan Atap
Bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian		

Koefisien tekanan dinding, C_p	Digunakan dengan			
Pernukaan	L/B	C_p		
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_s	
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	-0,5		
	2	-0,3		
	≥ 4	-0,2		
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q_s	

Koefisien tekanan atap, C_p , untuk digunakan dengan q_s												
Arah angin	Di sisi angin datang Sudut, θ (derajat)		Di sisi angin pergi Sudut, θ (derajat)									
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,3	-0,2 0,3	0,0** 0,4	0,4	0,016	-0,3	-0,5	-0,8
	0,5	-0,9 -0,18	-0,7 -0,18	-0,4 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,2	-0,2 0,3	0,0 0,4	0,016	-0,5	-0,5	-0,8
	$\geq 1,0$	-1,3** -0,18	-1,0 -0,18	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,4	0,0 0,4	0,016	-0,7	-0,8	-0,8
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta < 10^\circ$ sejajar bubungan untuk semua θ	$\leq 0,5$	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang		C_p		* Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi. ** Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai berikut ini:						

Gambar 2. 3 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p) (SNI 1727-2013 Gambar 27.4-1(Lanjutan))

g. Tekanan angin (p)

Tekanan angin desain untuk SPBAU bangunan gedung fleksibel harus ditentukan persamaan berikut:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi})(lb/ft^2)(N/m^2)$$

di mana :

$q = q_z$ untuk dinding di sisi angin datang yang diukur pada ketinggian z di atas permukaan tanah

$q = q_h$ untuk dinding di sisi angin pergi, dinding samping, dan atap yang diukur pada ketinggian h

$q_i = q_h$ untuk dinding di sisi angin datang, dinding samping, dinding di sisi angin pergi, dan atap bangunan gedung tertutup untuk mengevaluasi tekanan internal negatif pada bangunan gedung tertutup sebagian

$q_i = q_z$ untuk mengevaluasi tekanan internal positif pada bangunan gedung tertutup sebagian bila tinggi z ditentukan sebagai level dari bukaan tertinggi pada bangunan gedung yang dapat mempengaruhi tekanan internal positif. Untuk bangunan gedung yang terletak di wilayah berpartikel terbawa angin, kaca yang tidak tahan impak atau dilindungi dengan penutup tahan impak, harus diperlakukan sebagai bukaan sesuai dengan Pasal 26.10.3. Untuk menghitung tekanan internal positif, q_i secara konservatif boleh dihitung pada ketinggian h ($q_i = q_h$)

G = faktor efek-tiupan angin

C_p = koefisien tekanan eksternal

(GC_{pi}) = koefisien tekanan internal

q dan q_i harus dihitung dengan menggunakan eksposur. Tekanan harus diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan disisi angin pergi pada permukaan atap seperti ditetapkan dalam gambar di bawah ini.

2.6 Kombinasi Pembebanan

Struktur harus dirancang hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut yang mengacu pada tata cara perencanaan gempa SNI 1726:2012 :

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1 E + L$
5. $0,9 D + 1 E$

Keterangan :

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap

L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

Lr adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

E adalah beban akibat gempa

2.7 Perencanaan Pelat

Ketebalan pelat ditentukan sehubungan dengan persyaratan lendutan. Dalam SNI-03-2847-2013 terdapat ketentuan-ketentuan di mana komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lentur/deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Syarat ketebalan pelat menurut SNI-03-2847-2013 terdapat dua tinjauan, yaitu tinjauan untuk ketebalan pelat konstruksi satu arah dan tinjauan untuk ketebalan pelat konstruksi dua arah.

Tabel 2. 20 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen Struktur	Dua tumpuan	Satu ujung	Kedua ujung	Kantilever
	Sederhana	menerus	Menerus	
Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar				
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
<p>CATATAN</p> <p>Panjang bentang dalam mm</p> <p>Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($w_c = 2400 \text{ kg/m}^2$) dan tulangan BJTD-40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut :</p> <p>a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis di antara 1500 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3, nilai tadi harus dikalikan dengan $[1,65 - (0,0003) w_c]$ tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana w_c adalah berat jenis dalam kg/m^3</p> <p>b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$</p>				

- **Konstruksi Satu Arah (Non-Prategang)**

Pelat terlentur satu arah digunakan bila rasio bentang terpanjang terhadap bentang terpendek lebih dari 2

($\frac{L_y}{L_x} > 2$), sedangkan permukaan pelat yang melendut

mempunyai kelengkungan tunggal.

1. Tebal minimum yang ditentukan dalam tabel 9.5(a) (pasal 9.5.2) berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

Tabel 2. 21 Tebal Minimum untuk Pelat Satu Arah

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau plat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/18
Catatan : panjang bentang dalam mm, nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut : a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (equilibrium density), w_c , diantara 1440 sampai 1840 kg/m ³ . Nilai tadi harus dikalikan dengan (1,65-0,0003 w_c) tetapi tidak kurang dari 1,09.				

- Konstruksi Dua Arah (Non-Prategang)

Pelat terlentur dua arah digunakan bila rasio bentang terpanjang terhadap bentang terpendek kurang dari $2 \left(\frac{L_y}{L_x} < 2 \right)$, sedangkan permukaan pelat yang

melendut mempunyai kelengkungan ganda.

Tebal minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan pasal 9.5.3.3 dimana tebal minimum pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua, harus memenuhi tabel 10 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :
 - Pelat tanpa penebalan 125 mm
 - Pelat dengan penebalan 100 mm

Tabel 2. 22 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior SNI-Tabel 10)

Tegangan leleh f_y^a MPa	Tanpa penebalan ^b			Dengan penebalan ^b		
	Panel luar		Panel dalam	Panel luar		Panel dalam
	Tanpa balok pinggi	Dengan balok pinggi		Tanpa balok pinggi	Dengan balok pinggi	

	r	r		r	r	
300	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
400	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
500	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$
<p>a. Untuk tulangan dengan tegangan leleh diantara 300 MPa dan 400 MPa atau diantara 400 MPa dan 500 MPa, gunakan interpolasi linier</p> <p>b. Penebalan panel didefinisikan dalam pasal 15.3(7(1)) dan 15.3(7(2))</p> <p>c. Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya di sepanjang tepi luar. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8</p>						

2. Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tidak lebih dari 2, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\lambda_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

3. Untuk α_m lebih besar dari 2, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\lambda_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 - 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana :

l_n = Panjang bentang bersih pada arah memanjang dari konstruksi dua arah, yang

diukur dari muka kemuka tumpuan pada pelat tanpa balok

f_y = Tegangan leleh

β = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat

α_m = Nilai rata – rata dari α untuk sebuah balok pada tepi dari semua panel

α = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

$$\alpha = \frac{(E_c \times I)_{\text{balok}}}{E_{cs} \times I_s}$$

dimana :

E_c = modulus elastisitas beton

E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto balok

I_s = momen inersia terhadap sumbu titik pusat penampang bruto pelat

Apabila $E_c = E_{cs}$; maka $\alpha = \frac{I}{I_s}$

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,6 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan 16 atau persamaan 17 harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

- Permodelan dan Analisa Struktur pada Pelat

Pada permodelan pelat, pelat dianggap terjepit penuh pada keempat sisinya. Hal ini disebabkan oleh tepi-tepi pelat (baik yang menerus maupun yang tidak menerus) mengalami perputaran sudut.

Pertimbangan lain dari permodelan ini adalah apabila pelat dianggap terjepit penuh pada keempat sisinya, maka dianggap momen-momen yang terjadi sebagian besar akan diterima oleh tumpuan sehingga nilai momen lapangan akan selalu lebih kecil. Padahal tepi pelat dapat berputar. Lain halnya bila pelat dimodelkan terjepit elastis pada keempat sisinya, maka besarnya momen pada lapangan akan mendekati momen tumpuannya (khusus untuk pelat yang ditumpu pada keempat sisinya) sehingga permodelan struktur lebih aman.

2.8 Perencanaan Balok

- Persyaratan Pelindung Beton untuk Tulangan (Non-Prategang)

Tabel 2. 23 Persyaratan Pelindung Beton untuk Tulangan (Non-Prategang)

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca : Batang D-19 hingga D-56	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat	40

ulir D16 dan yang lebih kecil	
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah : <u>Pelat, dinding, pelat berusuk :</u>	
Batang D-44 dan D-56	40
Batang D-36 dan yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom :</u>	40
Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	20
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat :</u>	15
Batang D-19 dan yang lebih besar	
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	

- Persyaratan untuk Batasan Spasi Tulangan

- Jarak bersih antar tulangan sejajar dalam lapis yang sama, tidak boleh kurang dari d_b ataupun 25 mm. Lihat juga ketentuan pasal 5.3(2) :
Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi :
 - 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan
 - 1/3 ketebalan pelat lantai
 - 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel tulangan atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

- Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan jarak spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang dari 25 mm.
- Pada komponen struktur tekan yang diberi tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ ataupun 40 mm.

- Prosedur Perhitungan Penulangan Lentur Balok

Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom dikedua ujung komponen struktur tersebut.

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang pada tumpuan tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

Sedangkan sengkang pada lapangan harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$.

- Prosedur Perhitungan Penulangan Geser dan Torsi Balok

- Tentukan V_u dari persyaratan (SNI-03-2847-2013 psl. 21.3.3) :

$$q_u = 1,2D + 1,0L$$

$$V_u = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

T_u diambil dari perhitungan struktur

- Kontrol perlu tidaknya tulangan torsi

$$\text{Batas } T_u = \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Apabila $T_u \leq \text{batas } T_u$ yang diijinkan, maka torsi diabaikan

Dimana :

A_{cp}^2 = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2

P_{cp} = keliling luar penampang beton, mm

- Kuat geser beton yang hanya dibebani oleh geser dan lentur

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_w \times d$$

(SNI-03-2847-2013 psl. 21.3.5.2)

Untuk daerah sepanjang d dari tumpuan

$$V_c = \frac{1}{2} \times V_c \text{ (diatas)}$$

Tulangan geser perlu :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = V_u - \phi V_c$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{f_y \times \phi \times d}$$

$$V_u \leq \phi \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_w \times d + \phi \frac{A_v \times f_y \times d}{S}$$

- Torsi balok

Perencanaan torsi didasarkan dari SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1. yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u memenuhi syarat sebagai berikut:

Tu kurang dari

$$\phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

A_{cp} = Luas penampang keseluruhan

P_{cp} = keliling penampang keseluruhan

$\lambda = 1$ (beton normal) SNI 2847 2013 pasal 8.6.1

$\Phi = 0,75$ (faktor reduksi beban torsi) SNI 2847 2013 pasal 9

- Untuk memikul geser oleh lentur dan puntir, dimensi penampang harus direncanakan:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_c h^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c} \right)$$

- Dalam mendesain tulangan torsi, harus memenuhi:
 $\phi T_n \geq T_u$

Sedangkan T_n dihitung dengan persamaan:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dengan A_o boleh diambil sama dengan 0,85 ;
 θ boleh diambil sama dengan 45 derajat untuk komponen struktur non prategang atau komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif kurang dari 40% kekuatan tarik longitudinal

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi. A_l tidak boleh kurang dari:

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

- Penyaluran dan Penyambungan Tulangan

1. Penyaluran batang ulir dan kawat ulir yang berada dalam kondisi tarik
 - * Panjang penyaluran λ_d dinyatakan dalam diameter d_b untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, harus ditentukan berdasarkan pasal 21.5.3, tetapi λ_d tidak boleh kurang dari 300 mm.
 - * Untuk batang ulir atau kawat ulir, λ_d / d_b harus diambil sebagai berikut :

Tabel 2. 24 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang D-19 dan lebih kecil	Batang D-22 atau lebih
--	--------------------------------	---------------------------

	atau kawat ulir	besar
Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang di sepanjang λ_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan		
Atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{3 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{5 \sqrt{f'_c}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{18 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$	$\frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{9 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda}{10 \sqrt{f'_c}}$

Dimana :

- α = faktor lokasi penulangan
 β = faktor pelapis
 λ = faktor beton agregat ringan
 d_b = diameter tulangan

2. Penyaluran batang ulir yang berada dalam kondisi tekan

- * Panjang penyaluran λ_d dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar λ_{db} pada pasal 14.3(2)

dengan faktor modifikasi yang berlaku sesuai dengan pasal 14.3(3), tetapi λ_d tidak boleh kurang dari 200 mm.

- * Panjang penyaluran dasar λ_{db} , harus diambil sebesar $d_b f_y / (4\sqrt{f_c})$, tetapi tidak kurang dari $0,04 d_b f_y$

2.9 Perencanaan Kolom

-Persyaratan Dimensi Kolom

Sebelum diperiksa syarat dimensi kolom menurut SNI -2847-2013 Pasal 21.6.1 harus dipenuhi bila:

- Kolom sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial
- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari $A_g f_c' / 10$

-Persyaratan Tulangan Kolom

1. Kontrol rasio tulangan kolom
Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang, A_s , tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,06 A_g$
2. Pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan boleh diabaikan pada rangka tak bergoyang apabila memenuhi :

$$\frac{K \times l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

3. Apabila $\frac{K \times l_u}{r} \geq 100$, maka diperlukan perhitungan momen orde – dua

4. Pembesaran Momen

$$M_c = \delta_{ns} \times M_2$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(K \times L_u)^2}$$

5. Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_w \times d$$

(SNI-03-2847-2013 psl.21.6.5.)

6. Gaya geser yang disumbangkan beton Akibat gaya geser

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

(SNI-03-2847-2013 psl.21.6.5.)

7. Kontrol kekuatan geser
(SNI 03-2847-2002 psl. 21.7.4)

$$\phi V_n \geq V_u \quad V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{S}$$

8. Panjang Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tarik (SNI 03-2847-2002 psl. 21.7.5)

$$l_{hb} = \frac{f_y \times d_b}{5.4 \sqrt{f'_c}}$$

Panjang penyaluran termodifikasi :

$$l_{dh} = \gamma_{hb} \times 0,7 \times \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \geq 8d_b \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

-Persyaratan Spasi Senggang Ikat Kolom

1. Spasi maksimum senggang ikat yang dipasang pada rentang λ_o dari muka hubungan balok-kolom adalah s_o . Spasi s_o tersebut tidak boleh melebihi :
 - Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - 24 kali diameter senggang ikat
 - setengah diameter penampang terkecil komponen struktur
 - 300 mm

Panjang λ_o tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini :

- seperenam tinggi bersih kolom
 - diameter terbesar penampang kolom
 - 500 mm
2. Senggang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5s_o$ dari muka hubungan balok-kolom.

2.10 Perencanaan Tangga

a. Perencanaan Dimensi Anak Tangga

1. Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes. Merencanakan dimensi tanjakan dan injakan dengan :

$$60 \text{ cm} < (2t + i) < 65 \text{ cm}$$

Keterangan :

t = tinggi tanjakan < 25 cm

i = lebar injakan, dengan $25 \text{ cm} < i < 40 \text{ cm}$

2. Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

3. Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

4. Jumlah tanjakan

$$n_t = \frac{\text{tinggi tangga}}{t}$$

5. Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1$$

6. Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan luas segitiga :

$$L\Delta_1 = L\Delta_2$$

$$\frac{1}{2} i \cdot t = \frac{1}{2} \sqrt{i^2 + t^2} \cdot d$$

Maka Tebal Efektif Pelat Tangga = Tebal Pelat Tangga Rencana + $\frac{1}{2} d$

b. Penulangan Struktur Tangga

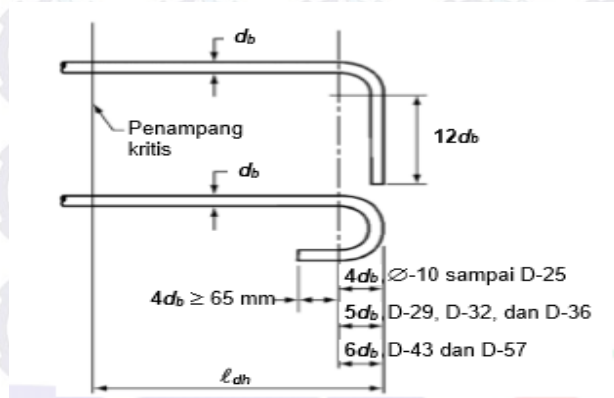
Penulangan pada pelat tangga dan pelat bordes menggunakan perhitungan sesuai dengan prinsip perencanaan pelat lantai.

2.11 Perhitungan Volume Pembesian

Pembesian pada penulangan balok ataupun kolom dihitung berdasarkan beratnya dalam kg atau ton. Dalam perhitungan volume balok dan kolom, dipertimbangkan juga aspek pembengkokan tulangan dan panjang kaitan. Hal ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan besi secara efisien. Perhitungan volume pembesian direncanakan berdasarkan SNI Tata cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (2847-2013), sehingga telah disusun ketentuan panjang bengkokan, kaitan dan penyaluran pada gedung.

a. Kait Standar

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standar.



Gambar 2. 4 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

b. Panjang Penyaluran

1) Panjang Penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tarik

- Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus sebagai berikut:

Tabel 2. 25 Panjang Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik

	Batang tulangan ulir atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambungkan tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b		
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{1,4\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Sumber: SNI 2847-2013 Pasal 12.2.2

- Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus sebesar :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_s \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dimana ruas pengekanan $(C_b + K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn}$$

Dimana n adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr} = 0$ sebagai penyederhanaan disain meskipun terdapat tulangan transversal.

- Faktor-faktor yang digunakan dalam perumusan-perumusan untuk peyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik :
 - a) Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan, $\psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\psi_t = 1,0$.
 - b) Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi

dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\psi_e = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (dikalvalis), $\psi_e = 1,0$.

- c) Untuk batang tulangan ulir atau kawat ulir D-19 atau lebih kecil, $\psi_s = 0,8$. Untuk batang tulangan D-22 dan yang lebih besar, $\psi_s = 1,0$.
- d) Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi 0,75 kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila beton berat normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

2) Panjang penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tekan

- Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan, l_{dc} harus ditetapkan sesuai dengan ketentuan pada poin selanjutnya, tetapi l_{dc} tidak boleh kurang dari 200 mm.
- Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari:
 $\left(\frac{0,24f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$ dan $(0,043f_y) d_b$, dengan konstanta 0,043 mempunyai satuan mm^2/N .
- Panjang l_{dc} di atas diizinkan untuk dikalikan dengan faktor sesuai untuk :
 - a) Tulangan yang melebihi dari yang diperlukan oleh analisis.....(A_s perlu)/(A_s terpasang)
 - b) Tulangan dilingkupi tulangan spiral tidak kurang dari diameter 6 mm dan tidak lebih

dari spasi 100 mm atau dalam pengikat berdiameter 13 dan berspasi pusat-ke-pusat tidak lebih dari 100 mm.....0,75.

Untuk menghitung berat besi (kg) dapat melihat tabel berat besi berdasarkan tipe besi seperti polos atau ulir lalu dikalikan dengan panjang total besi yang ditinjau.

Tabel 2. 26 Berat Besi

BESI BETON SPIRAL / DEFORMED BARS			BESI BETON /MIL STEEL ROUND BARS		
Size	Weight	Berat per m	Size	Weight	Berat per m
D 6 mm - 12 m	2,99 Kg	0,249 Kg	Ø 6 mm - 12 m	2,66 Kg	0,222 Kg
D 10 mm - 12 m	7,40 Kg	0,617 Kg	Ø 6,5 mm - 12 m	3,20 Kg	0,267 Kg
D 12 mm - 12 m	10,70 Kg	0,892 Kg	Ø 8 mm - 12 m	4,74 Kg	0,395 Kg
D 13 mm - 12 m	12,48 Kg	1,040 Kg	Ø 9 mm - 12 m	6,00 Kg	0,500 Kg
D 16 mm - 12 m	18,96 Kg	1,580 Kg	Ø 10 mm - 12 m	7,40 Kg	0,617 Kg
D 19 mm - 12 m	26,76 Kg	2,230 Kg	Ø 12 mm - 12 m	10,70 Kg	0,892 Kg
D 22 mm - 12 m	35,76 Kg	2,980 Kg	Ø 13 mm - 12 m	12,50 Kg	1,042 Kg
D 25 mm - 12 m	46,20 Kg	3,850 Kg	Ø 14 mm - 12 m	14,50 Kg	1,208 Kg
D 29 mm - 12 m	62,28 Kg	5,190 Kg	Ø 16 mm - 12 m	19,00 Kg	1,583 Kg
D 32 mm - 12 m	75,72 Kg	6,310 Kg	Ø 19 mm - 12 m	26,80 Kg	2,233 Kg
D 35 mm - 12 m	90,10 Kg	7,508 Kg	Ø 22 mm - 12 m	35,80 Kg	2,983 Kg
D 36 mm - 12 m	95,88 Kg	7,990 Kg	Ø 23 mm - 12 m	39,10 Kg	3,258 Kg
D 38 mm - 12 m	107,00 Kg	8,917 Kg	Ø 25 mm - 12 m	46,20 Kg	3,850 Kg
D 41 mm - 12 m	126,00 Kg	10,500 Kg	Ø 28 mm - 12 m	58,00 Kg	4,833 Kg
			Ø 31 mm - 12 m	71,10 Kg	5,925 Kg
			Ø 32 mm - 12 m	75,77 Kg	6,314 Kg

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Metodologi dalam Perencanaan Ulang Struktur Hotel 6 Lantai di Surabaya dengan menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut:

3.1 Data Perencanaan

1.Data Bangunan

Nama Proyek : Pembangunan Gedung Hotel Premier Inn Surabaya
Lokasi Proyek : Jalan Biliton Surabaya, Jawa Timur
Tinggi Bangunan : 16.3 meter
Struktur Bangunan Atap : Struktur Beton
Struktur Bangunan Atas : Balok, Kolom, Plat, dan Tangga menggunakan beton bertulang

2.Data Tanah

Data tanah didapatkan dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh laboratorium Uji Tanah Terkait. Data tanah berupa data SPT.

3.Data Gambar

Data gambar meliputi gambar denah, gambar tampak, gambar potongan, dan gambar detail yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi komponen struktur yang berasal dari proyek.

4.Data Bahan

Mutu bahan yang digunakan pada perencanaan adalah:

Mutu Beton (f_c') : 30 Mpa
Mutu Tulangan Lentur (f_y) : 400 Mpa
Mutu Tulangan Geser (f_{ys}) : 240 Mpa

3.2 Pengumpulan Data

1. Gambar struktur bangunan

2. Data tanah pada bangunan tersebut
3. Peraturan dan buku penunjang lainnya sebagai dasar teori maupun pendukung untuk tugas akhir ini.

3.3 Penentuan Sistem Struktur

- a. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata-rata (N_{SPT}) sesuai SNI 1726:2012

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}}$$

- b. Dari nilai N_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel 2.2.1 sesuai SNI 1726:2012

- c. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (gempa 500 tahun)

- d. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan tabel 2.2.2 dan tabel 2.2.3 sesuai dengan SNI 1726:2012.

- e. Menentukan Parameter Spektrum Respons percepatan pada periode 0,2 detik (S_{MS}) sesuai SNI 1726:2012

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

- f. Menentukan Parameter Spektrum Respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) sesuai SNI 1726:2012.

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

- g. Parameter percepatan spektral desain untuk periode 0,2 detik sesuai SNI 1726:2012.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

- h. Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik sesuai SNI 1726:2012.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

- i. Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan gempa (I) struktur bangunan sesuai SNI 1726:2012 bisa dilihat pada tabel 2.2.4 dan 2.2.5.
- j. Kemudian mencari KDS untuk lokasi bangunan tersebut sesuai SNI 1726:2012 pada tabel 2.2.6 dan tabel 2.2.7

3.4 Preliminary Desain

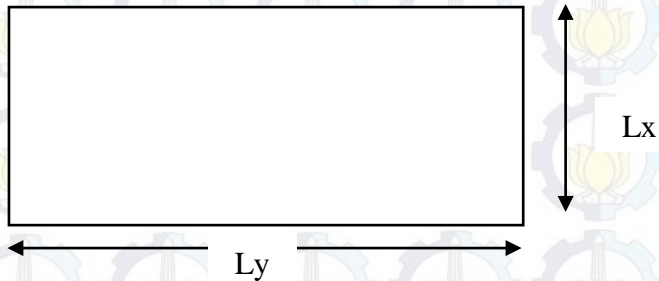
Penentuan dimensi elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada SNI 2847-2013 maupun ketentuan lain sesuai literatur yang dipakai. Elemen struktur yang perlu direncanakan adalah :

a. Penentuan Dimensi Pelat

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

1) Perencanaan pelat satu arah (one way slab)

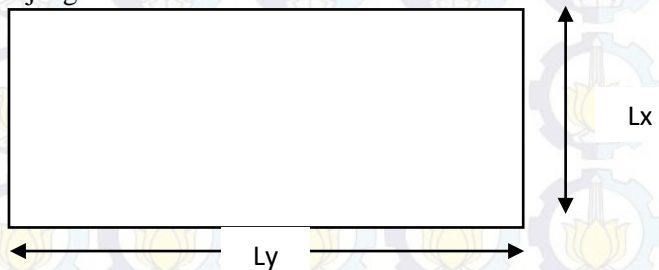
Pelat satu arah terjadi apabila $\frac{l_y}{l_x} > 2$; dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang.



Tebal minimum yang ditentukan dalam tabel berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

2) Perencanaan pelat dua arah (two ways slab)

Pelat dua arah terjadi apabila $\frac{l_y}{l_x} < 2$; dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang.



Tebal pelat minimumnya harus memenuhi ketentuan tabel dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :

- ❖ Tanpa penebalan > 125 mm
- ❖ Dengan penebalan > 100 mm

b. Penentuan Dimensi Sloof

Untuk menentukan tinggi balok sloof, dapat menggunakan SNI 2847-2013, Tabel 11, sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai 2/3 dari tinggi balok sloof yang telah didapat.

c. Penentuan Dimensi Balok

Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan SNI 2847-2013, Tabel 11, sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai 2/3 dari tinggi balok yang telah didapat.

d. Penentuan Dimensi Kolom

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

Dimana :

I_{kolom} : inersia kolom $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$

L_{kolom} : tinggi bersih kolom

I_{balok} : inersia balok $\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$

L_{balok} : panjang bersih balok

b_k dan $d_k \geq 250$ mm

$$\frac{h_k}{b_k \text{ atau } d_k} \leq 25$$

e. Penentuan Dimensi Tangga

Merencanakan dimensi anak tangga dan bordes.

Merencanakan dimensi tanjakan dan injakan dengan :

$$60 \text{ cm} < (2t + i) < 65 \text{ cm}$$

Keterangan :

t = tinggi tanjakan < 25 cm

i = lebar injakan, dengan $25 \text{ cm} < i < 40 \text{ cm}$ dan maksimal sudut tangga sebesar 40°

3.5 Pembebanan Struktur

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan.

Analisa pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Pembebanan pada konstruksi atap

- a. **Beban Mati**
Terdiri dari berat sendiri plat atap, plafon dan penggantung, perpipaan serta instalasi listrik.
- b. **Beban Hidup**
Beban pelaksana, beban air hujan, dan beban angin.

2. Pembebanan pada plat lantai

- a. **Beban Mati**
Terdiri dari berat sendiri plat, spesi, keramik, plafon dan penggantung, perpipaan serta instalasi listrik.
- b. **Beban Hidup**
Beban hidup ditentukan dalam SNI Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (1727:2013).

3. Pembebanan pada tangga dan bordes

- a. **Beban Mati**
Terdiri dari berat sendiri plat tangga/bordes, anak tangga, spesi, *railing hand*, dan keramik.
- b. **Beban Hidup**
Beban hidup ditentukan dalam SNI Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (1727:2013).

4. Beban Gempa

Analisa beban gempa menggunakan perhitungan statik ekuivalen sesuai SNI Tata Cara Perencanaan

Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung. (1726:2012)

5. Beban Hujan

Beban hujan ditentukan dalam SNI 1727-2013 pasal 8.3.

6. Beban Angin

Beban angin ditentukan dalam SNI Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (1727:2013)

3.6 Analisis Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan SAP 2000. Kombinasi yang dipakai untuk pembebanan pada SAP 2000 adalah sebagai berikut:

1. Ketahanan struktur terhadap beban hidup dan mati:
 - a. $1,4 D$
 - b. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$
2. Ketahanan struktur terhadap beban angin dan dikombinasikan dengan beban hidup dan mati:
 - c. $1,2 D + 1 L_r + (L \text{ atau } 0,5W)$
 - d. $0,9 D \pm 1,6 W$
3. Ketahanan struktur terhadap beban gempa yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati:
 - e. $1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
 - f. $0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan:

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

W : Beban Angin

E : Beban Gempa

R : Beban Air Hujan

A : Beban Atap

3.7 Perhitungan Penulangan dan Kontrol Persyaratan Struktur

a. Pelat

Momen arah X dan Y pada pelat diperoleh dari output program SAP2000.

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,5 \times \rho_{balance}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$As = \rho_{perlu} \times b \times d$$

NB : apabila $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka ρ_{perlu} dinaikkan 30% sehingga :

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$$

❖ Cek persyaratan

- a) Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{max} \leq 2 \times h$$

- b) Kontrol perlu tulangan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton

sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014.

Tabel 3. 1 Rasio Luas Tulangan

		Rasio tulangan minimum terhadap luas bruto
a.	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir Mutu 280 atau 350	0,0020
b.	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las Mutu 420	0,0018
c.	Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen	$0,0018 \times \frac{400}{f_y}$

- c) Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau 450 mm.

b. Tangga dan Bordes

Langkah-langkah perencanaan penulangan pada pelat tangga dan bordes sama dengan pelat lantai.

c. Balok

• Perhitungan tulangan lentur

Momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program SAP2000.

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$d = b_w - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{tul. utama}}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2}$$

$$\rho_b = \frac{0,85x\beta_1xf_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,5\rho_b$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85xf_y}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

Hitung tulangan:

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, maka memakai ρ

$\rho_{min} > \rho$, maka memakai ρ_{min}

$As = \rho \cdot b \cdot d$, atau $As = \rho_{min} \cdot b \cdot d$

$As' = 0,5As$

$n = \frac{As}{As_{pakai}}$

Cek kondisi :

Bila $\rho > \rho_{max}$, maka perbesar dimensi penampang

Bila $\rho < \rho_{min}$, maka dimensi terlalu besar

- **Perhitungan tulangan geser**

- ❖ Penentuan V_n , V_c , V_s , dan V_u
Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa (E).

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

Sedangkan untuk gaya geser minimum yang harus dimiliki tulangan geser :

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times bw \times d$$

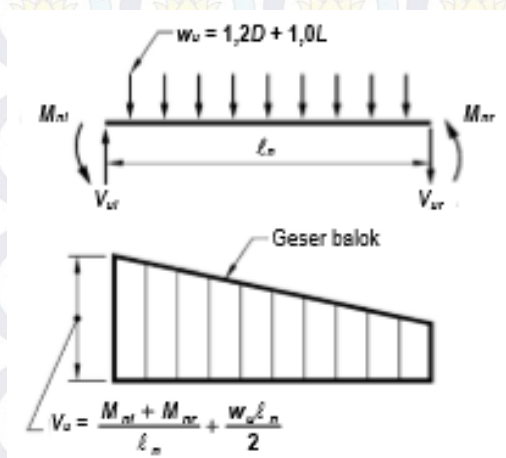
$$V_{s_{max}} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times bw \times d$$

$$V_s = \frac{Av \times f_y \times d}{S}$$

Luas tulangan geser minimum yang harus terpasang :

$$Av_{min} = \frac{bw \times S}{3 \times f_y}$$

Untuk mendapatkan V_u sesuai dengan perencanaan SRPMM, maka rumus yang digunakan sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Gaya Lintang pada Balok Akibat Beban Gravitasi Terfaktor

Berikut adalah beberapa kondisi perhitungan tulangan geser :

1. Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$$

Maka, tidak perlu tulangan geser.

2. Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$$

Maka, perlu tulangan geser minimum.

$$Av_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times f_y}$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} \times bw \times d$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

3. Kondisi 3

$$\phi \times Vc < Vu \leq \phi(Vc + Vs_{min})$$

Maka, perlu tulangan geser minimum.

$$Av_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times f_y}$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} \times bw \times d$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

4. Kondisi 4

$$\phi(Vc + Vs_{min}) < Vu \leq \phi \left(Vc + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times bw \times d \right)$$

Maka, perlu tulangan geser.

$$\phi \times Vs_{perlu} = Vu - \phi \times Vc$$

$$Vs = \frac{Av \times f_y \times d}{s}$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

5. Kondisi 5

$$\phi \left(Vc + \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times bw \times d \right) < Vu \leq \phi \left(Vc + \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times bw \times d \right)$$

Maka, perlu tulangan geser.

$$\phi \times V_{s_{perlu}} = V_u - \phi \times V_c$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

- **Perhitungan tulangan torsi**

Pengaruh torsi boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari:

- a. Untuk komponen struktur non-prategang

$$0,083 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

- b. Untuk komponen struktur prategang

$$0,083 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \lambda \sqrt{f_c'}}$$

- c. Untuk komponen struktur non-prategang yang dikenai gaya tarik atau tekan aksial

$$0,083 \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33 A_g \lambda \sqrt{f_c'}}$$

- ❖ Cek persyaratan

- ❖ Kontrol momen

$$M_n > \frac{M_u}{\phi}$$

- ❖ Kontrol penulangan geser

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

- ❖ Perhitungan panjang penyaluran tulangan

- 1) Panjang Penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tarik

- ❖ Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Panjang Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik

	Batang tulangan ulir atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambungkan tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{1,4 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_s}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$

(SNI 2847-2013 Pasal 12.2.2)

- ❖ Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_d harus sebesar :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t \psi_s \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dimana ruas pengekanan $(C_b + K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn}$$

Dimana n adalah jumlah batang tulangan atau kawat yang disambung atau disalurkan sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr} = 0$ sebagai penyederhanaan disain meskipun terdapat tulangan transversal.

- ❖ Faktor-faktor yang digunakan dalam perumusan-perumusan untuk peyaluran batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik:
 - a) Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan, $\psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\psi_t = 1,0$.
 - b) Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\psi_e = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (dikalvalis), $\psi_e = 1,0$.
 - c) Untuk batang tulangan ulir atau kawat ulir D-19 atau lebih kecil, $\psi_s = 0,8$. Untuk batang tulangan D-22 dan yang lebih besar, $\psi_s = 1,0$.
 - d) Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi 0,75 kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila beton berat normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

2) Panjang penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tekan

- Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan, l_{dc} harus ditetapkan sesuai dengan ketentuan pada poin

selanjutnya, tetapi l_{dc} tidak boleh kurang dari 200 mm.

- Untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir, l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari:

$$\left(\frac{0,24f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \text{ dan } (0,043f_y) d_b,$$

dengan konstanta 0,043 mempunyai satuan mm^2/N .

- Panjang l_{dc} di atas diizinkan untuk dikalikan dengan faktor sesuai untuk :

- a) Tulangan yang melebihi dari yang diperlukan oleh analisis.....(A_s perlu)/(A_s terpasang)
- b) Tulangan dilindungi tulangan spiral tidak kurang dari diameter 6 mm dan tidak lebih dari spasi 100 mm atau dalam pengikat berdiameter 13 dan berspasi pusat-ke-pusat tidak lebih dari 100 mm.

d. Kolom

- **Perhitungan tulangan lentur kolom**

- a. Bedakan antara kolom dengan pengaku (braced frame) atau kolom tanpa pengaku (unbraced frame)

- Untuk komponen struktur tekan yang di bracing terhadap goyangan menyimpang :

$$\frac{k \cdot Lu}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

- Untuk komponen struktur tekan yang tidak dibracing terhadap goyangan menyimpang :

$$\frac{k \cdot Lu}{r} \leq 22$$

- b. Hitung faktor kekakuan (EI) kolom

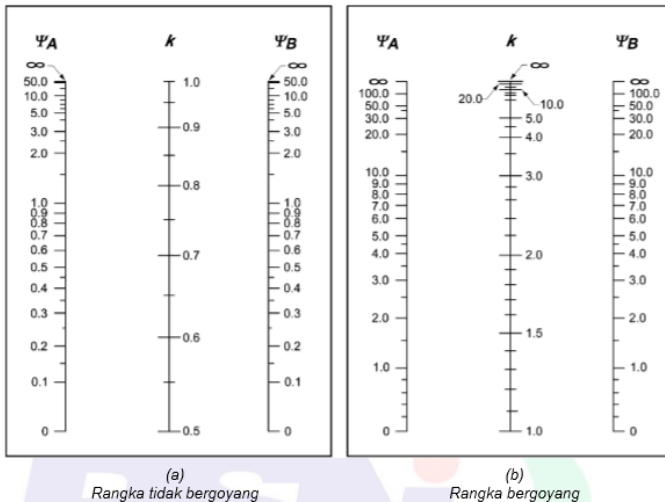
Nilai EI bisa diambil dari :

$$EI = \frac{0,2.E_c.I_g + E_s.I_{ss}}{1 + \beta_d} \quad \text{atau} \quad EI = \frac{0,4.E_c.I_g}{1 + \beta_d}$$

- c. Hitung faktor kekangan ujung-ujung kolom Ψ_A dan Ψ_B .

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L} \right)_{\text{kolom-kolom}}}{\sum \left(\frac{EI}{L} \right)_{\text{balok-balok}}}$$

- d. Hitung faktor panjang efektif (k)
Lihat tabel nomigram pada SNI 2847-2013
Pasal 12.11.6



Gambar 3. 2 Faktor Panjang Efektif (k)

- e. Hitung P_c (Beban kritis) kolom-kolom yang bersangkutan

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot L_u)^2}$$

f. Hitung faktor pembesaran momen (δ_s dan δ_{ns})

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \cdot \sum P_c}} \geq 1$$

Hitung :

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

Dimana :

δ_s = faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping

C_m = suatu faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen

M_{1s} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

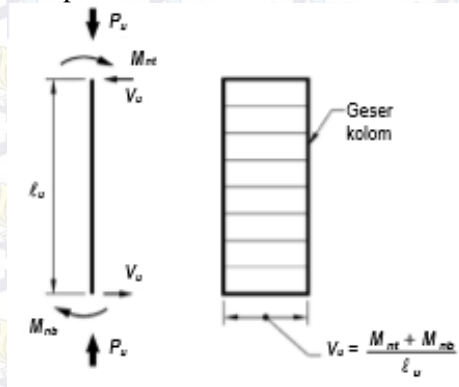
M_{2s} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

- **Perhitungan tulangan geser kolom**

Untuk mendapatkan nilai V_u pada kolom sesuai dengan perencanaan SRPMM dapat diperoleh dari rumus berikut :



Gambar 3. 3 Gaya Lintang pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor

Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial, maka kuat geser (V_c) harus dihitung menggunakan rumus :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Besaran Nu/Ag harus dinyatakan dalam MPa.

Kondisi perhitungan tulangan geser pada kolom sama dengan kondisi perhitungan pada balok.

- ❖ Cek persyaratan
 - a. Kontrol momen

$$M_n > \frac{Mu}{\phi}$$

- b. Kontrol kemampuan kolom

Kontrol kemampuan kolom dilakukan dengan menggunakan program PCACOL.

$$M_{ux} < M_{nx}$$

$$M_{uy} < M_{ny}$$

- ❖ Perhitungan panjang penyaluran tulangan kolom

- a. Tulangan kondisi tarik

$$\frac{\lambda_d}{d_s} = \frac{3f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5\sqrt{f'_c}} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{sperlu}}{A_{spasang}} \lambda_d$$

- b. Tulangan kondisi tekan

$$\lambda_d = \frac{d_b \cdot f_y}{4\sqrt{f'_c}} \geq 0,04 \cdot d_b f_y$$

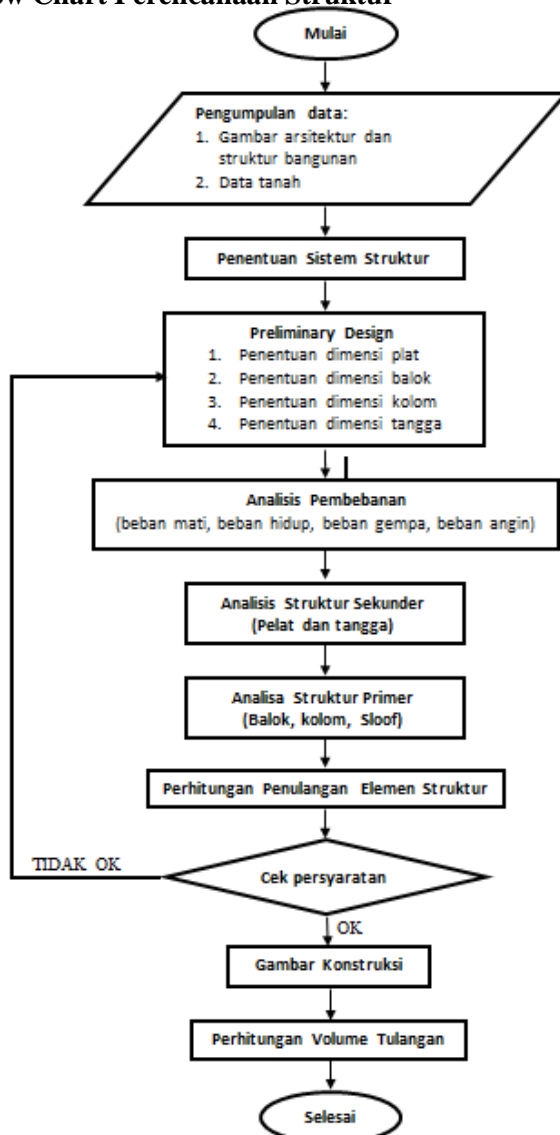
$$\text{Tulangan lebih} = \frac{A_{sperlu}}{A_{spasang}} \lambda_d$$

- c. Tulangan berkait dalam kondisi tarik

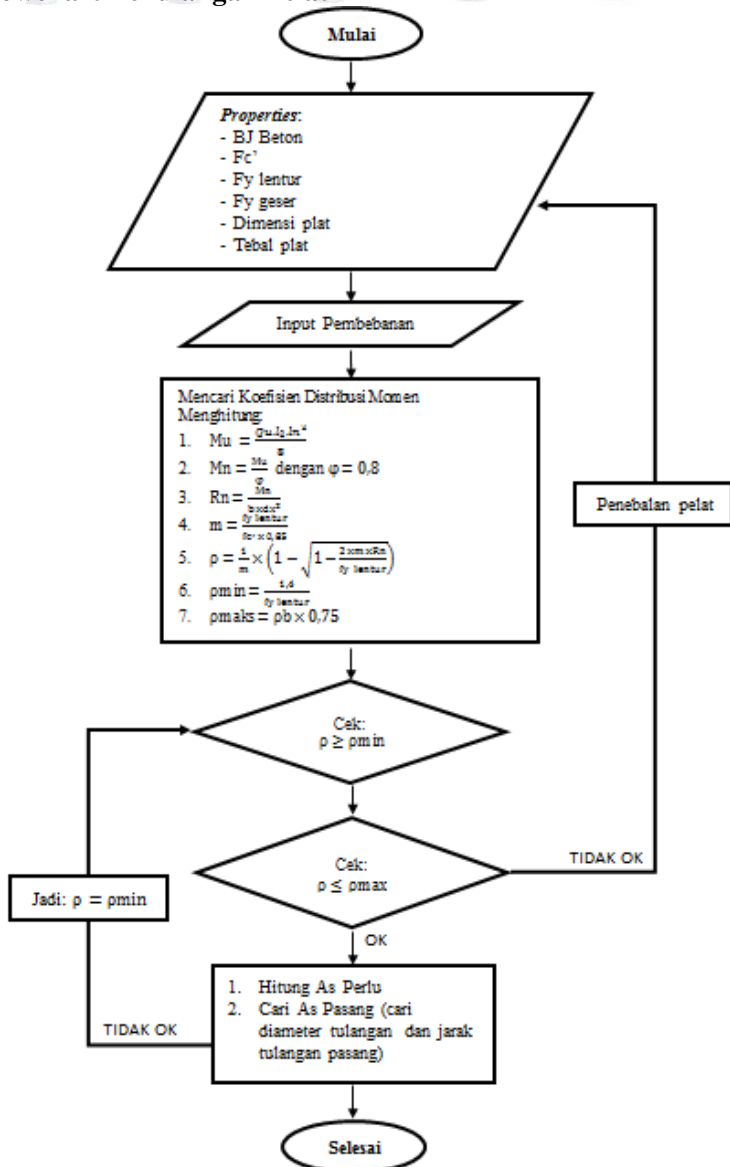
$$\lambda_{hb} = \frac{100d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

3.8 Flow Chart

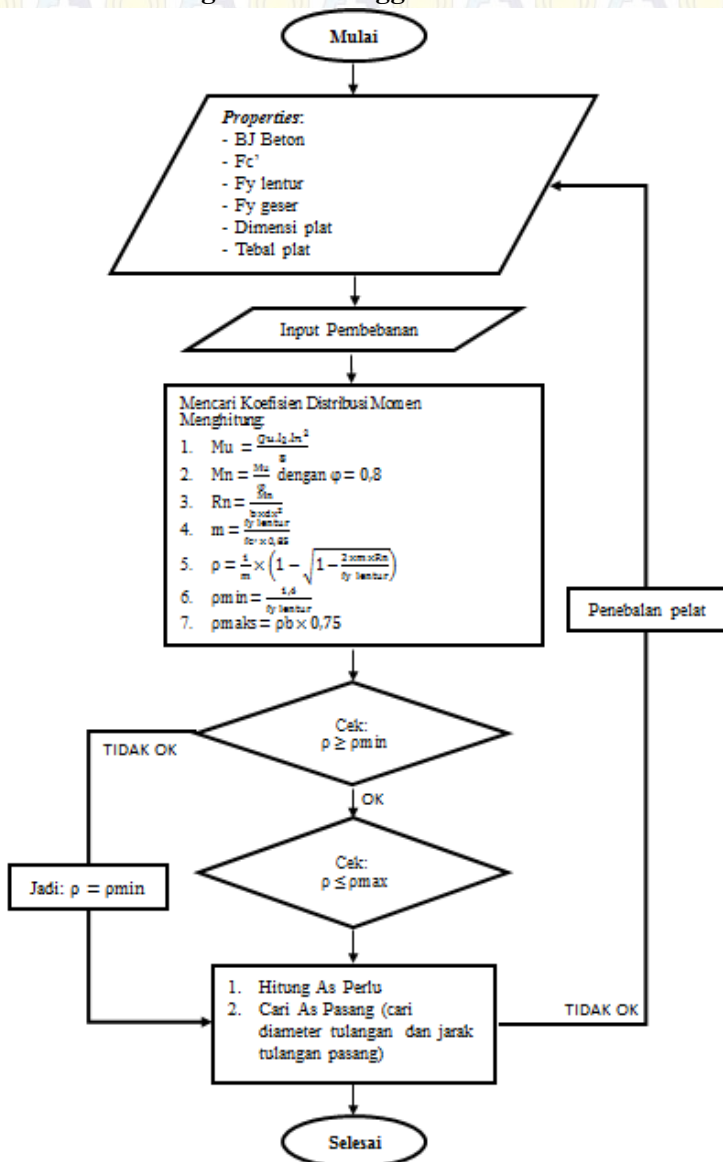
Flow Chart Perencanaan Struktur



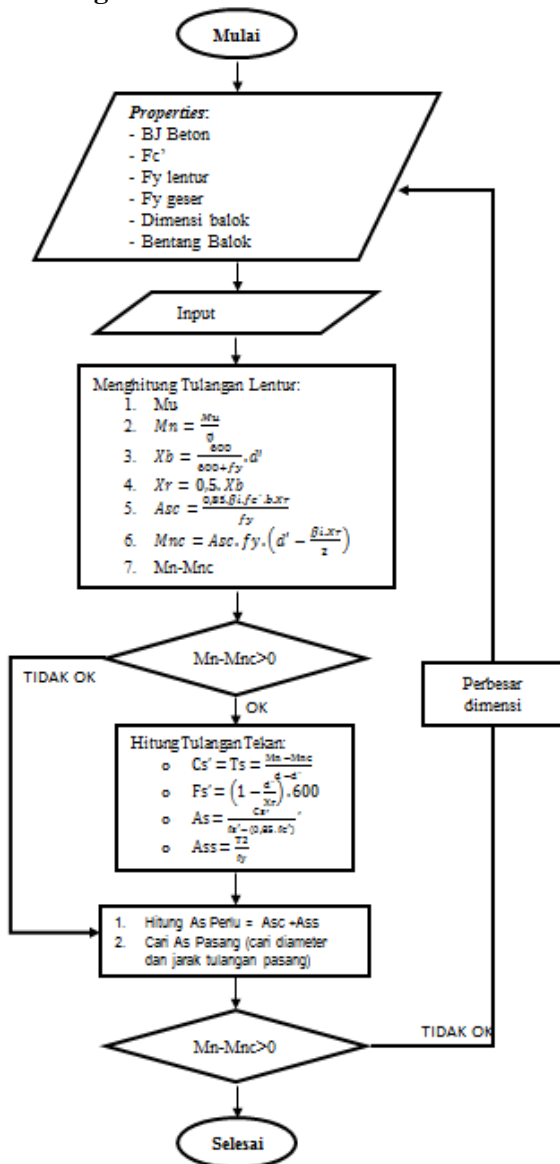
Flowchart Penulangan Pelat



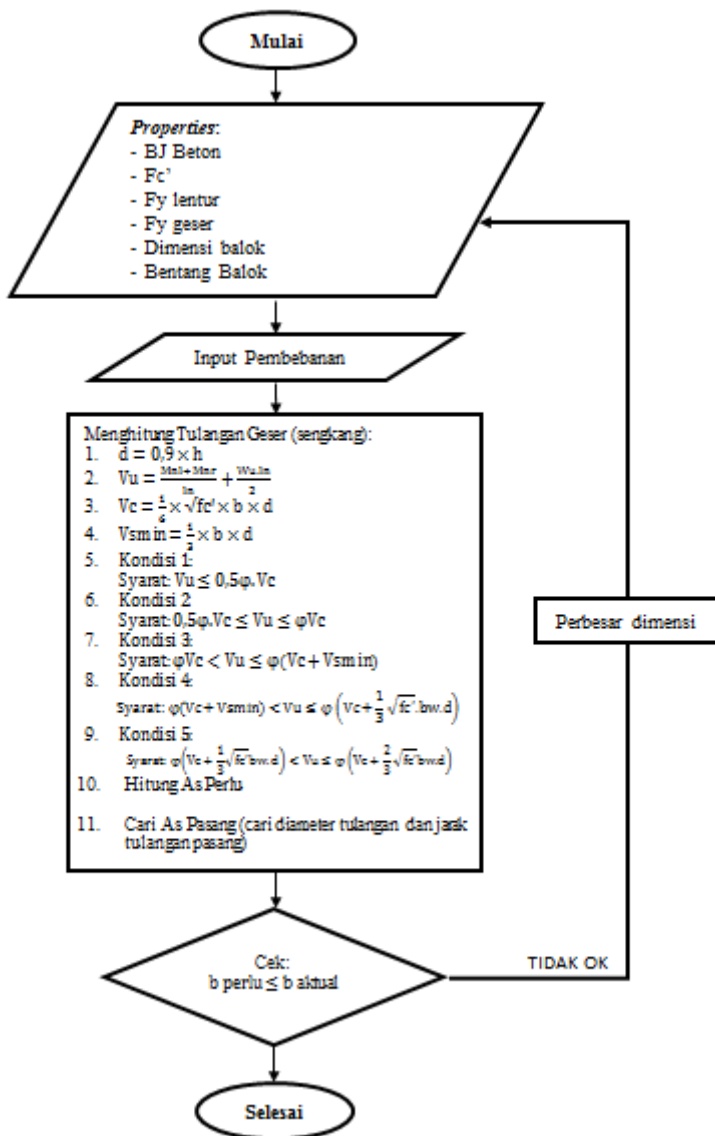
Flowchart Penulangan Pelat Tangga dan Bordes



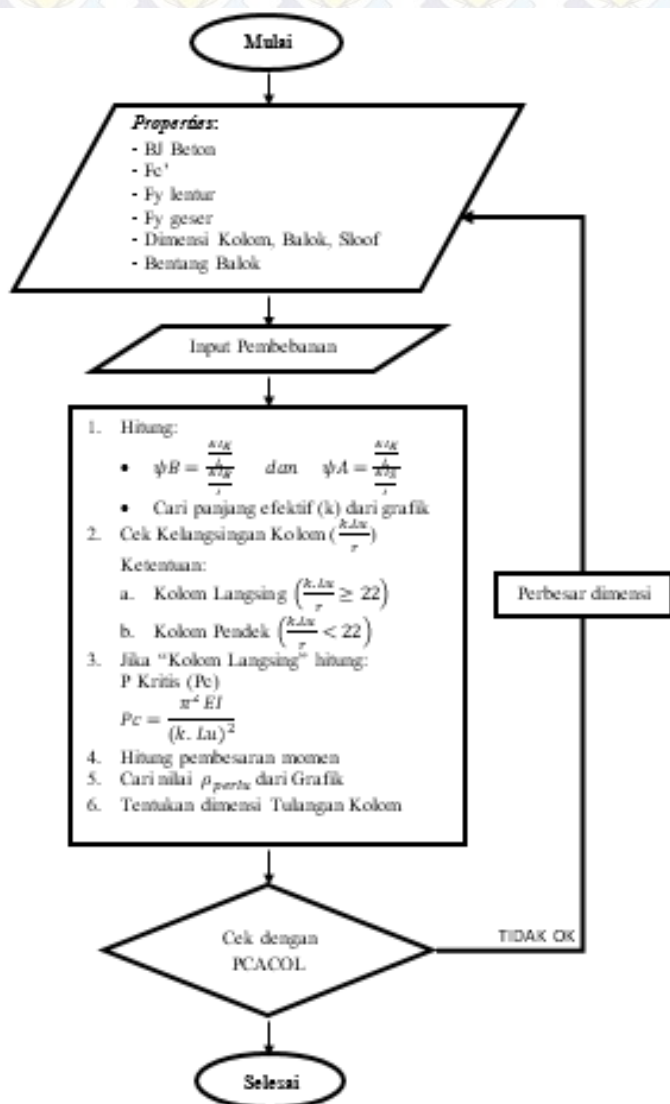
Flowchart Penulangan Balok



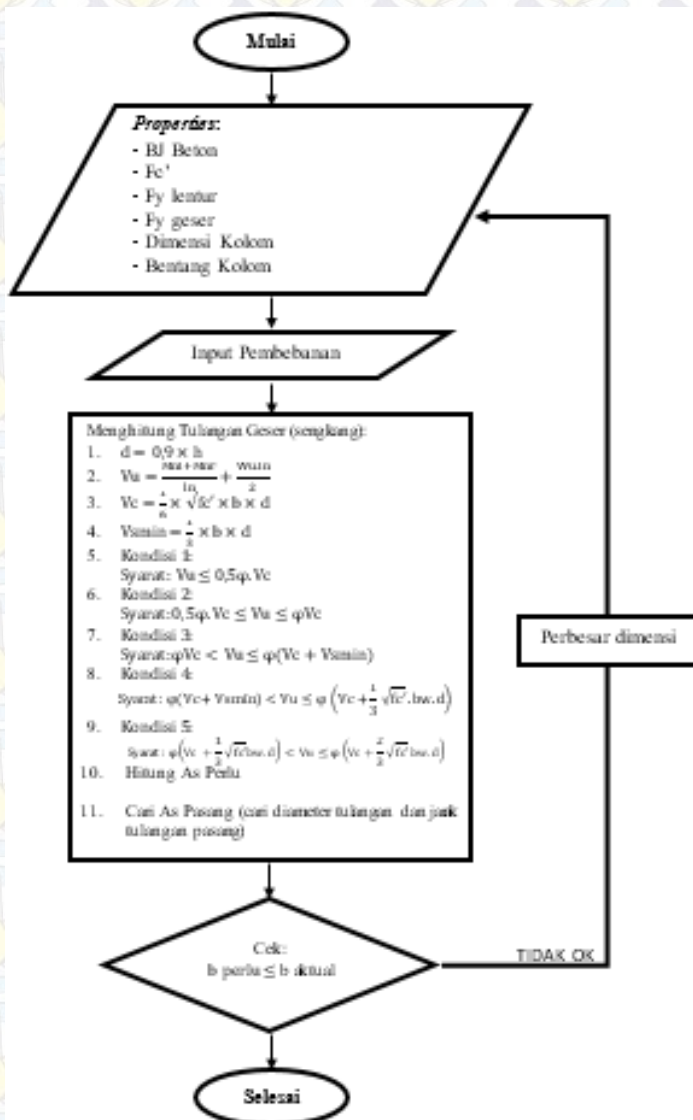
Flowchart Penulangan Geser Balok



Flowchart Penulangan Kolom



Flowchart Penulangan Geser Kolom



3.9 Gambar Rencana

Gambar perencanaan meliputi:

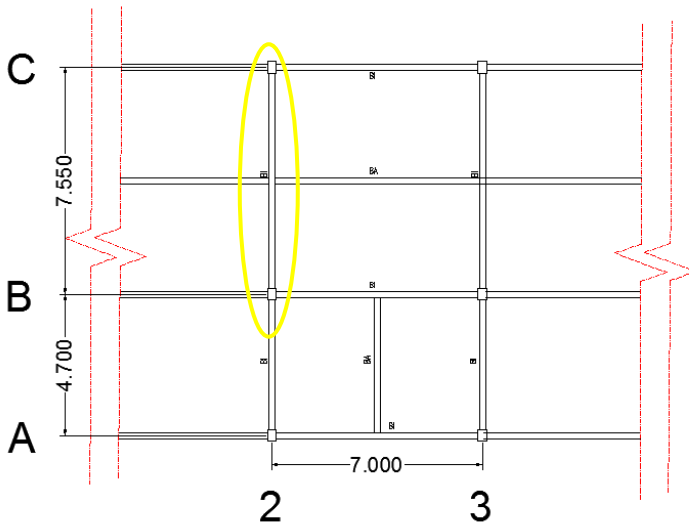
1. Gambar arsitektur terdiri dari:
 - Gambar denah
 - Gambar Tampak (tampak depan dan tampak samping)
2. Gambar struktur terdiri dari
 - Gambar Potongan (potongan memanjang dan melintang)
 - Gambar denah plat
 - Gambar denah tangga dan bordes
 - Gambar denah balok
 - Gambar denah kolom
 - Gambar denah sloof
3. Gambar penulangan
 - Gambar penulangan plat
 - Gambar penulangan tangga dan bordes
 - Gambar penulangan balok
 - Gambar penulangan kolom
 - Gambar penulangan sloof
4. Gambar detail
 - a. Gambar detail panjang penyaluran meliputi
 - Panjang penyaluran plat dan tangga
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran kolom
 - Panjang penyaluran sloof
 - b. Gambar detail penjangkaran tulangan
 - c. Gambar detail atap
5. Gambar Portal
 - a. Gambar Portal memanjang
 - b. Gambar Portal melintang

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

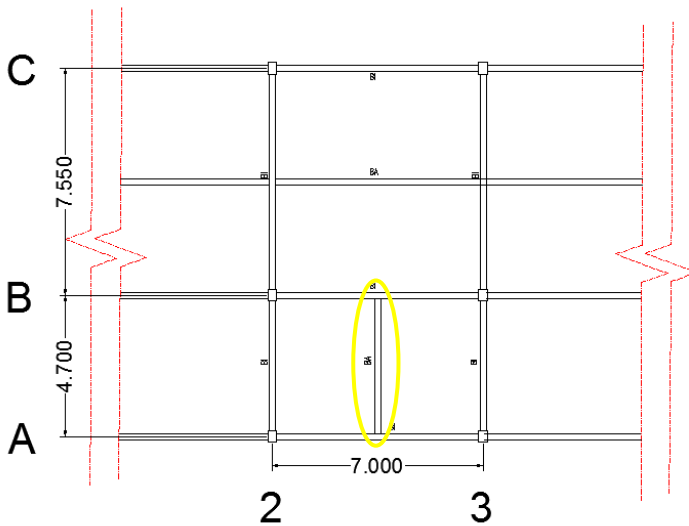
Dalam merencanakan struktur bangunan gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok



Gambar 4. 1 Potongan Denah Perencanaan Balok Induk

- Bentang yang digunakan yakni 7.550 mm (untuk balok induk) dan 7000 mm (untuk balok anak)
- Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa (untuk tulangan lentur)
- Mutu baja (f_y) : 240 MPa (untuk tulangan geser)



Gambar 4. 2 Potongan Denah Perencanaan Balok Anak

A. Balok Induk

Perhitungan Perencanaan :

$$h = \frac{1}{16} \cdot L = \frac{1}{16} \cdot 7,55 \text{ m} = 47,1875 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Diasumsikan $b = 2/3 h$, maka:

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 50 \text{ cm} = 33,3 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk dengan ukuran $35/50 \text{ cm}$

B. Balok Anak

Perhitungan Perencanaan :

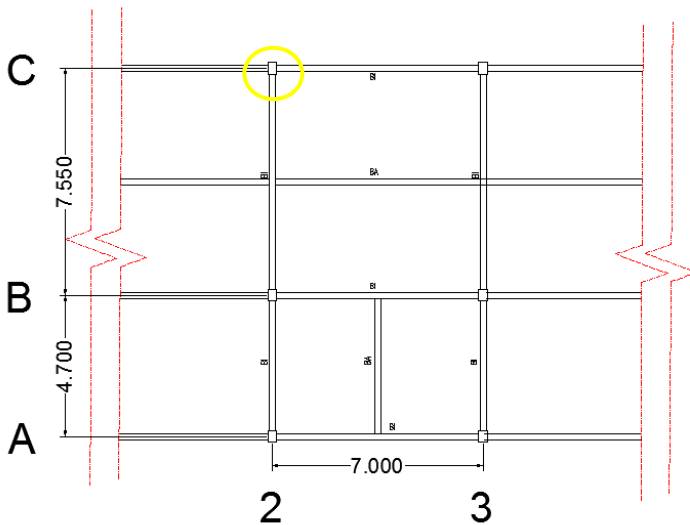
$$h = \frac{1}{21} \cdot L = \frac{1}{21} \cdot 7 \text{ m} = 33,333 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Diasumsikan $b = 2/3 h$, maka:

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 35 \text{ cm} = 23,3 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk dengan ukuran $25/35 \text{ cm}$

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom



Gambar 4. 3 Potongan Denah Perencanaan Kolom

- Tinggi Kolom (H_{kolom}) : 300 cm, 400 cm, 500 cm
- Bentang Balok (L_{balok}) : 755 cm
- Dimensi Balok (b_{balok}) : 35 cm
- Dimensi Balok (h_{balok}) : 50 cm

❖ Contoh Perhitungan Perencanaan :

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 35 \times 50^3$$

$$= 364.583.3333 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{kolom}} = \frac{L_{\text{kolom}} \times I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}} = 193.156,7 \text{ cm}^4$$

$$193.156,7 \text{ cm}^4 = \frac{1}{12} \times h^4$$

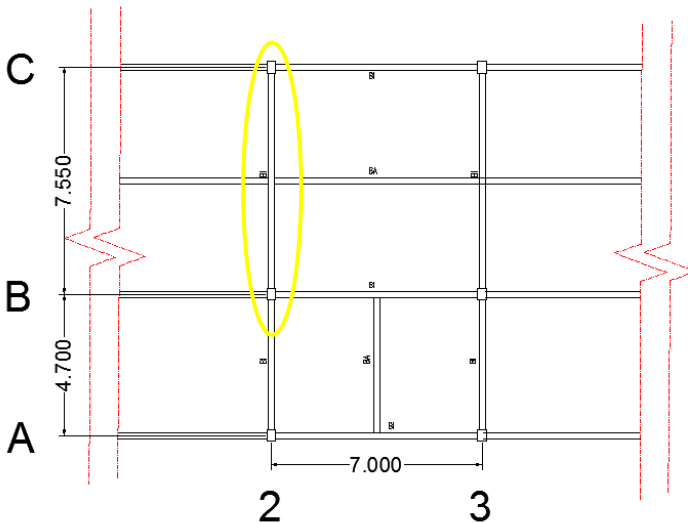
$$h^4 = 2.317.880,795 \text{ cm}^4$$

$$h = 39,02 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 40 \text{ cm} = 26,67 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran $30/40 \text{ cm}$

4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof



Gambar 4. 4 Potongan Denah Perencanaan Sloof

- L sloof : 7.550 mm
- Tinggi kolom : 400 cm
- Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa (untuk tulangan lentur)
- Mutu baja (f_y) : 240 MPa (untuk tulangan geser)

❖ Perhitungan Perencanaan :

Dimensi Kolom = 30 cm x 40 cm

L Kolom = 400 cm

I Kolom = $\frac{1}{12} \times b \times h^3$
 = 160.000 cm⁴

L Sloof = 755 cm

Maka, I Sloof = $\frac{L \text{ Sloof} \times I \text{ Kolom}}{L \text{ Kolom}}$

$$= \frac{755 \times 160.000}{400}$$

 = 302.000 cm⁴

Direncanakan lebar sloof = $\frac{2}{3} h$

I Sloof = $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

302.000 cm⁴ = $\frac{1}{12} \times \frac{2}{3} h \times h^3$

$h^4 = 3.624.000 \text{ cm}^4$

$h = 43,63 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$

$b = \frac{2}{3} \times h$

= $\frac{2}{3} \times 45 \text{ cm}$

= 30 cm

Maka digunakan dimensi sloof $\frac{30}{45} \text{ cm}$

Kesimpulan :

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas, maka dapat disimpulkan gedung ini menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut :

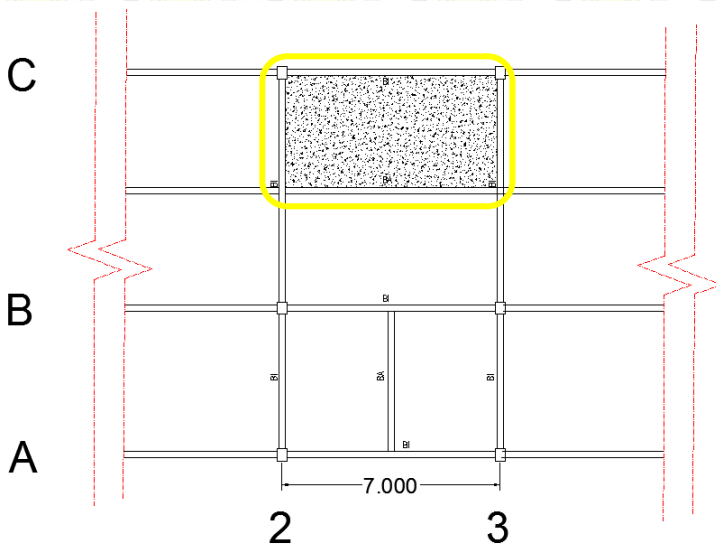
1. Balok Induk : 35/50
2. Balok Anak : 25/35
3. Sloof : 30/45
4. Kolom : 30/40

4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat

❖ Data-data Perencanaan :

- Kuat Tekan Beton (f_c') : 30 MPa
- Kuat Leleh Tulangan (f_y) : 400 MPa
- Rencana Tebal Pelat : 12 cm
- Bentang Panjang Pelat (L_y) : 700 cm
- Bentang Pendek Pelat (L_x) : 350 cm

❖ Gambar Denah Perencanaan :



Gambar 4. 5 Potongan Denah Perencanaan Pelat yang Ditinjau

❖ Perhitungan Perencanaan :

- Bentang Bersih Pelat Sumbu Panjang :

$$L_n = L_y - \left[\frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \right]$$

$$L_n = 700 - \left[\frac{35}{2} - \frac{35}{2} \right]$$

$$L_n = 665 \text{ cm}$$

- Bentang Bersih Pelat Sumbu Pendek :

$$S_n = L_x - \left[\frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \right]$$

$$S_n = 350 - \left[\frac{35}{2} - \frac{25}{2} \right]$$

$$S_n = 320 \text{ cm}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = 3,00 > 2 \quad \text{One Way Slab}$$

o Tinjau Balok As A *Joint* 2-3 dan Balok As B *Joint* 2-3 (35/50)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ &= 35 + 2(50-12) \\ &= 111 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ &= 35 + (8 \times 12) \\ &= 131 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 111 \text{ cm}$$

- Faktor Modifikasi (Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG G. SALMON 16.4.2.b)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) \times \left(\frac{12}{50} \right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50} \right) + 4 \left(\frac{12}{50} \right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) \times \left(\frac{12}{50} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1 \right) \times \left(\frac{12}{50} \right)}$$

$$K = 1.6$$

- Momen Inersia Penampang-T

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{t}$$

$$I_b = 1,6 \times 35 \times \frac{50^3}{12}$$

$$I_b = 591.964,599 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(470 + 377,5) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 61.020 \text{ cm}^4$$

- Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = 9,701$$

○ Tinjau Balok As 2 *Joint* A-B dan Balok As 3 *Joint* A-B (35/50)

- Menentukan lebar efektif sayap balok-T

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

$$b_{e1} = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h-t)$$

$$= 35 + 2(50-12)$$

$$= 111 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$= 35 + (8 \times 12)$$

$$= 131 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 111 \text{ cm}$$

- Faktor Modifikasi (Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG G. SALMON 16.4.2.b)

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{111}{85} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{85} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{85} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$K = 1.6$$

- Momen Inersia Penampang-T

$$I_b = k \times b_w \times \frac{h^3}{t}$$

$$I_b = 1,6 \times 35 \times \frac{50^3}{12}$$

$$I_b = 591.964,599 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(700) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 50.400 \text{ cm}^4$$

- Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = 11,745$$

- ❖ Dari keempat balok di atas didapatkan nilai rata-rata :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = 10,723 > 2$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3(c))

$$t = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = \frac{665 \left(0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 9 \times 3} \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = 113 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan pelat dengan tebal $t = 120 \text{ mm}$

4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Perletakan : Jepit-Sendi-Jepit
2. Pembebanan : Dead Load (DL) dan Live Load (LL)
3. Kombinasi : 1,2 DL + 1,6 LL
4. Distribusi : (*Uniform Shell Load*) untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.

❖ Data-data Perencanaan

Panjang datar tangga : 2900 cm

Tinggi tangga : 300 cm

Tinggi pelat bordes : 155 cm

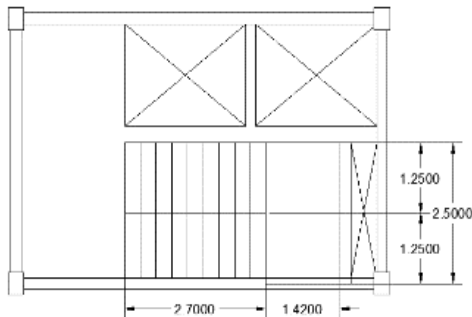
Tebal pelat tangga : 15 cm

Tebal pelat bordes : 15 cm

Lebar injakan (i) : 30 cm

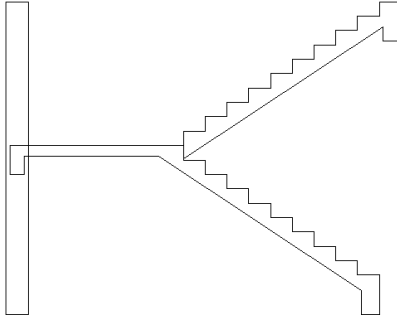
Tinggi tanjakan (t) : 20 cm

❖ Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 6 Denah Perencanaan Tangga

❖ Perhitungan Perencanaan Panjang Miring Tangga

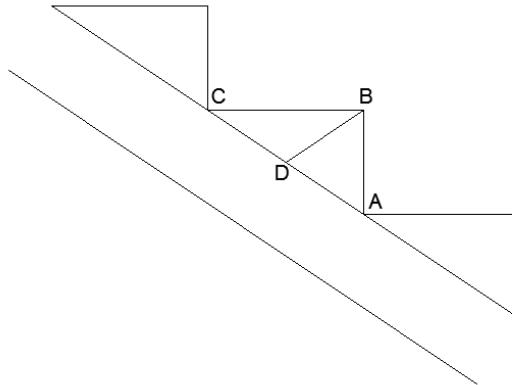


Gambar 4. 7 Potongan Rencana Tangga

$$= \sqrt{(2,9)^2 + (1,5)^2}$$

$$= 3,264 \text{ m}$$

Panjang Miring Anak Tangga



Gambar 4. 8 Potongan Rencana Tangga Diperbesar

$$AB = 20 \text{ cm}$$

$$BC = 30 \text{ cm}$$

$$AC = \sqrt{(30)^2 + (20)^2}$$

$$AC = 36,05 \text{ cm}$$

Jumlah Tanjakan (nt)

$$\text{Tinggi bordes} = 1,55 \text{ m} = 155 \text{ cm}$$

$$nt = \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{tinggi tanjakan}} = \frac{300}{20} = 15 \text{ buah}$$

Sudut Kemiringan Tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{20}{30}$$

$$\alpha = 33,69^\circ \approx 34^\circ$$

Syarat Sudut Kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 34^\circ \leq 40^\circ$$

→ *Memenuhi*

Tebal Pelat Ekuivalen

$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{30 \times 20}{36,05}$$

$$BD = 16,64 \text{ cm}$$

Tebal Efektif Pelat Tangga

$$= \frac{2}{3} \times BD = \frac{2}{3} \times 16,64$$

$$= 11,09 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

4.1.6 Preliminary Design yang Digunakan

Preliminary design yang kami gunakan menyesuaikan hasil dari SAP 2000. Adapun rekapitulasinya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Rekapitulasi *Preliminary Design* yang digunakan

NO	ELEMEN	DIMENSI		SATUAN
1	BALOK INDUK	40	60	cm
2	BALOK ANAK	30	40	cm
3	KOLOM	40	60	cm
4	SLOOF INDUK	40	60	cm
5	SLOOF ANAK	30	40	cm
6	BALOK BORDES	40	50	cm
7	BALOK LIFT	30	50	cm
8	PELAT LANTAI	12		cm
9	PELAT TANGGA	15		cm
10	PELAT BORDES	15		cm
11	PELAT ATAP	12		cm

4.2 Perhitungan Struktur

4.2.1 Pembebanan Pelat

Pembebanan struktur pelat merupakan komponen struktur sekunder dengan syarat mengalami kehancuran terlebih dahulu daripada komponen struktur primer. Dengan demikian komponen struktur pelat pada perencanaan tidak dimasukkan dalam permodelan SAP 2000, sehingga perhitungan komponen struktur pelat lantai atau pelat atap harus direncanakan, dibebankan, dan dihitung sendiri.

Pembebanan yang terdapat pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan SNI 1727-2013, serta brosur yang ada di pasaran. Karena struktur pelat merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1**, yaitu $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$.

➤ **Beban Mati:**

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pelat (12 cm)} &= 0.12 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat waterproof (1 cm)} &= 10,5 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat spesi (3 mm)} &= 15 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat keramik (1 cm)} &= 1 \text{ cm} \times 16,5 \text{ kg/m}^2 = 16,5 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat plafond Kalsi 3 + Penggantung} &= 41,7 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat perpipaan air} &= 25 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Instalasi listrik, AC, dll} &= 40 \text{ kg/m}^2 + \\
 \text{q DL} &= 437 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Hidup:**

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup (hotel)} &= 192 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban hidup (kantor)} &= 240 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban hidup (lobby)} &= 479 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban hidup lantai atap} &= 96 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban hujan (atap)} &= 44,1 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.2 Pembebanan Tangga

Tidak berbeda dengan pembebanan pelat lantai ataupun pelat atap, pembebanan pada tangga terdapat pada komponen struktur yang disesuaikan dengan SNI 1727-2013. Karena struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1**, yaitu $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$.

❖ Pembebanan pada Pelat Tangga

➤ Beban Mati:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pelat (15 cm)} &= 0.15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat anak tangga} &= 0.2 \text{ m}^2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 240 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat spesi} &= 15 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat keramik (1 cm)} &= 16,5 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat railing} &= 10 \text{ kg/m}^2 + \\
 q \text{ DL} &= 642 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

➤ Beban Hidup:

$$\begin{aligned}
 \text{Tangga dan bordes} &= 479 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Pegangan (terpusat)} &= 89 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Susuran tangga} &= 73 \text{ kg/m}^2 + \\
 q \text{ LL} &= 641 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

❖ Pembebanan pada Pelat Bordes

➤ Beban Mati:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pelat (15 cm)} &= 0.15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 360 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat spesi} &= 15 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat keramik (1 cm)} &= 16,5 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat railing} &= 10 \text{ kg/m}^2 + \\
 q \text{ DL} &= 402 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

➤ Beban Hidup:

$$\begin{aligned}
 \text{Tangga dan bordes} &= 479 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Pegangan (terpusat)} &= 89 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Susuran tangga} &= \frac{73 \text{ kg/m}^2}{641} + \\ q_{LL} &= \text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.3 Pembebanan Dinding

Komponen struktur dinding tidak dimasukkan dalam permodelan SAP 2000 sehingga dibebankan/didistribusikan pada komponen yang berada di atas sisi komponen balok. Pendistribusian beban komponen struktur dinding ke komponen balok merupakan distribusi beban tetap (beban mati).

Dikarenakan beban pada komponen dinding yaitu luasan, sedangkan beban pada komponen balok merupakan beban merata, sehingga beban harus dikonversikan ke beban balok. Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan brosur pasaran, yang terdiri dari bata ringan Citicon, acian NP S450, dan plester D200, dengan total 146 kg/m^2 .

❖ Tinggi Dinding Tiap Lantai

- Lantai 1 (H1) = 4 m
- Lantai 2 (H2) = 3 m
- Lantai 3 (H3) = 3 m
- Lantai 4 (H4) = 3 m
- Lantai 5 (H5) = 3 m
- Lantai 6 (H6) = 3 m
- Lantai atap-pinggir (H7) = 0.5 m
- Lantai atap-ruang lift (H8) = 5 m

❖ Perhitungan

- Beban merata lantai 1 = $H1 \times 146 \text{ kg/m}^2$
= $4 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
= 584 kg/m^2
- Beban merata lantai 2 = $H2 \times 146 \text{ kg/m}^2$
= $3 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
= 438 kg/m^2
- Beban merata lantai 3 = $H3 \times 146 \text{ kg/m}^2$
= $3 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$

- Beban merata lantai 4
 - $= 438 \text{ kg/m}^2$
 - $= H_4 \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 3 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 438 \text{ kg/m}^2$
- Beban merata lantai 5
 - $= H_5 \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 3 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 438 \text{ kg/m}^2$
- Beban merata lantai 6
 - $= H_6 \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 3 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 438 \text{ kg/m}^2$
- Beban merata lantai atap-pinggir
 - $= 0,5 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 73 \text{ kg/m}^2$
- Beban merata lantai atap-R. Llift
 - $= 5 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$
 - $= 730 \text{ kg/m}^2$

Catatan : pada permodelan SAP 2000, beban dinding ditambahkan pada balok-balok dan pelat tertentu, yaitu pada daerah yang terkena beban dinding atau penyekat ruangan.

4.2.4 Beban Angin

Beban pada kolom berupa beban angin secara vertikal dengan pembeda jenis input yakni angin datang, angin pergi, dan angin tepi. Beban angin pada kolom diinputkan pada SAP 2000, disesuaikan dengan asumsi arah datangnya angin. Dalam hal ini beban angin disimbolkan dengan W.

1. Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan Tabel 10, dapat kita kategorikan bangunan yang kita gunakan berada pada kategori risiko III

2. Kecepatan Angin Dasar (V)

Berdasarkan BMKG Jawa Timur pada 17 September 2016, kecepatan angina tertinggi ialah 9,7 m/s atau 35 km/jam

3. Parameter Beban Angin

- Faktor Arah Angin (K_d)
Berdasarkan tabel 11, didapat K_d sebesar 0,85
- Kategori Eksposur
Bangunan 6 lantai di Surabaya ini masuk kategori eksposur B
- Faktor Topografi (K_{zt})
Dengan rumus

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

dan K_1, K_2, K_3 berdasarkan tabel 12, akan tetapi kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi kondisi yang disyaratkan, sehingga K_{zt} dipakai sebesar 1

- Faktor Efek Tiupan Angin (G)
Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85
- Klasifikasi Ketertutupan
Gedung hotel 6 lantai di Surabaya ini terklasifikasikan sebagai bangunan tertutup
- Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})
Karena bangunan terklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, maka GC_{pi} didapat $\pm 0,18$

4. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z atau K_h)

Berdasarkan interpolasi nilai dan rumus pada tabel 14, didapat K_z sebesar 0,92 dan K_h sebesar 0,923

5. Tekanan Velositas (q atau q_h)

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V_z^2 (N/m^2); V \text{ dalam m/s}$$

di mana:

K_d = faktor arah angin

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas

K_{zt} = faktor topografi tertentu

V = kecepatan angin dasar

q_z = tekanan velositas dihitung pada ketinggian z

q_h = tekanan velositas dihitung pada ketinggian atap rata-rata h sehingga, q_z didapat sebesar $45,44 \text{ N/m}^2$ dan q_h sebesar $45,29 \text{ N/m}^2$

6. Koefisien Tekanan Eksternal, C_p atau C_n

Berdasarkan gambar 4.2.1.1, didapat L sebesar 12,3 m dan B sebesar 43,5 m. L/B didapat 0,28; sehingga koefien C_p yang digunakan pada dinding di sisi angin datang sebesar 0,8 bersama q_z ; koefien C_p yang digunakan pada dinding di sisi angin pergi sebesar -0,5 bersama q_h ; koefien C_p yang digunakan pada dinding tepi sebesar -0,7 bersama q_h

7. Tekanan Angin (ρ)

$$\rho = qGC_p - q_i (qGC_{pi})$$

Maka ρ pada dinding di sisi angin datang sebesar $3,62 \text{ kg/m}^2$, pada dinding di sisi angin pergi sebesar $-2,3 \text{ kg/m}^2$, pada dinding tepi sebesar $-3,2 \text{ kg/m}^2$

4.2.5 Beban Hujan

$$R = 0,0098 (ds+dh)$$

Dengan,

ds = kedalaman air pada atap yang tidak melendut (25 mm)

dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut (20 mm)

Maka,

$$\begin{aligned} R &= 0,0098 (ds+dh) \\ &= 0,0098 (25 + 20) \\ &= 44,1 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.6 Beban Gempa

Gedung yang direncanakan ulang adalah gedung Hotel Premier Inn, berlokasi di Jl. Biliton Surabaya yang awalnya memiliki 11 lantai. Untuk tugas akhir ini, kami menggunakan 6 lantai saja. Pada perhitungan beban gempa struktur, ada beberapa

faktor yang perlu diperhatikan, termasuk pengecekan terhadap kategori gedung tersebut.

Statik Ekuivalen Gempa Rencana

Data-data untuk keperluan input pembebanan statik diambil seperti berikut ini mengacu pada SNI 03-1726-2012.

1. Klasifikasi Situs

Jenis kategori tanah dalam pasal 5.3 SNI 03-1726-2012 dibedakan menjadi batuan keras, batuan, tanah keras, sedang, lunak, dan khusus. Jenis tanah yang digunakan merupakan Tanah Sederhana berdasarkan perhitungan menggunakan perhitungan data tanah SPT seperti berikut :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Tabel 4. 2 Perhitungan Klasifikasi Situs

Lapisan ke- i	Tebal Per Lapisan (di)	Nilai N-SPT (Ni)	di/Ni
1	2.5	12	0.208
2	5	15	0.333
3	7.5	25	0.300
4	10	20	0.500
5	12.5	30	0.417
6	15	31	0.484
7	17.5	51	0.343
8	20	36	0.556
9	22.5	54	0.417
10	25	60	0.417
11	27.5	60	0.458
12	30	60	0.500
Σ			39,533

$$\bar{N} = 39,533$$

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 3, apabila nilai $\bar{N} = 39,533$ maka tergolong dalam situs SD (tanah sedang) karena $1 > \bar{N} > 50$.

2. Faktor Percepatan Batuan Dasar (S_s, S_1)
 Parameter S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_s (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 10 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 10 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Nilai $S_s = 0,3$ dan $S_1 = 0,1$ berdasarkan Peta Hazard Indonesia.
3. Faktor Koefisien Situs (F_a, F_v) dan Parameter Respon (S_{MS}, S_{M1})
 Nilai F_a dan F_v ditentukan dengan menggunakan cara interpolasi.
 Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) = 1,56
 Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v) = 2,4
 Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) = $F_a \cdot S_s = 1,56 \cdot 0,3 = 0,468$
 Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}) = $F_v \cdot S_1 = 2,4 \cdot 0,1 = 0,24$
4. Parameter Percepatan Desain (S_{d1}, S_{ds}) sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 6.3
 Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, $S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,468 = 0,312$

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik,
 $S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,24 = 0,16$

5. Faktor Keutamaan Gempa (I)
 Sesuai dengan SNI 03-1726-2012, Gedung ini termasuk dalam kategori risiko II dan didapatkan faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0.
6. Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS)
 Tabel 4. 3 Tabel S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 < S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012 Tabel 6

Karena nilai S_{DS} didapatkan sebesar 0,312, dan gedung memiliki kategori risiko II, maka gedung ini tergolong dalam kategori desain seismik B

Tabel 4. 4 Tabel S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 < S_{DS} < 0,13$	B	C
$0,13 < S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

(SNI 1726-2012 Tabel 7)

Karena nilai S_{D1} didapatkan sebesar 0,16, dan gedung memiliki kategori risiko II, maka gedung ini tergolong dalam kategori desain seismik C.

Maka, Gedung Hotel 6 lantai di Surabaya ini termasuk dalam KDS C, sehingga menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM)

7. Menentukan Sistem Rangka Pemikul Momen dan Parameter Struktur (nilai R, dan C_d)
Berdasarkan tabel 9 SNI 1726-2012, bagian C-6, didapatkan nilai R sebesar 5 dan nilai C_d sebesar $4 \frac{1}{2}$.

8. Menentukan Berat Per Lantai (W)
Tabel 4. 5 Berat Struktur Per Lantai

	Elevasi	Berat Struktur (kg)
W0	-0,05	237.720,66
W1	+3,95	531.976,688
W2	+6,95	513.569,924
W3	+9,95	508.601,924
W4	+12,95	508.534,9078
W5	+15,95	508.534,9078
W6	+18,95	445.384,6118
W7	+23,95	74.143,64
Jumlah		3.328.467,263

9. Menentukan Beban Geser Dasar Seismik (V)

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana nilai $C_s = 0,104$

Maka nilai V =

$$\begin{aligned} V &= 0,104 \times 3.328.467,263 \text{ kg} \\ &= 346.160,595 \text{ kg} \end{aligned}$$

10. Menentukan Eksentrisitas

Eksentrisitas suatu bangunan dihitung dari jumlah dan letak kolom per lantainya. Data yang kita perlukan yakni luas penampang kolom, serta letak kolom dalam bentuk jarak ke sumbu x ataupun sumbu y. Lalu, mencari:

- A.x dan A.y
- Total penampang kolom 1 lantai ($\sum A$)
- Total A.x dan total A.y ($\sum A.x$ dan $\sum A.y$)
- $\bar{x}R = \frac{\sum A.x}{\sum A}$ dan $\bar{y}R = \frac{\sum A.y}{\sum A}$

Tabel 4. 6 Contoh pengerjaan

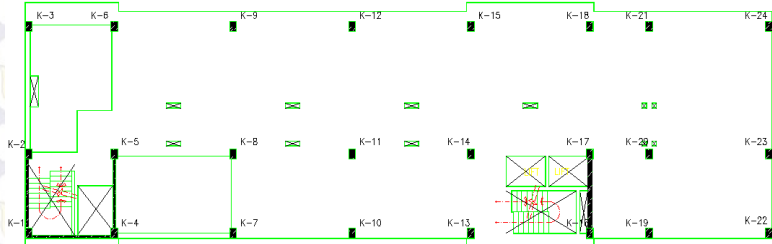
	ELEMEN	A(m2)	x(m)	y(m)	A.x(m3)	A.y(m3)	xR (m)	yR (m)
W 0	kolom 0.1	0,35	0	0	0	0	21, 87 5	5,6 5
	kolom 0.2	0,35	0	4,7	0	1,645		
	kolom 0.3	0,35	0	12,25	0	4,2875		
	kolom 0.4	0,35	5	0	1,75	0		
	kolom 0.5	0,35	5	4,7	1,75	1,645		
	kolom 0.6	0,35	5	12,25	1,75	4,2875		
	kolom 0.7	0,35	12	0	4,2	0		
	kolom 0.8	0,35	12	4,7	4,2	1,645		
	kolom 0.9	0,35	12	12,25	4,2	4,2875		
	kolom 0.10	0,35	19	0	6,65	0		
	kolom 0.11	0,35	19	4,7	6,65	1,645		
	kolom 0.12	0,35	19	12,25	6,65	4,2875		
	kolom 0.13	0,35	26	0	9,1	0		
	kolom 0.14	0,35	26	4,7	9,1	1,645		
	kolom 0.15	0,35	26	12,25	9,1	4,2875		
	kolom 0.16	0,35	33	0	11,55	0		
	kolom 0.17	0,35	33	4,7	11,55	1,645		
	kolom 0.18	0,35	33	12,25	11,55	4,2875		
	kolom 0.19	0,35	36,5	0	12,775	0		
	kolom 0.20	0,35	36,5	4,7	12,775	1,645		
	kolom 0.21	0,35	36,5	12,25	12,775	4,2875		
	kolom 0.22	0,35	43,5	0	15,225	0		
	kolom 0.23	0,35	43,5	4,7	15,225	1,645		
	kolom 0.24	0,35	43,5	12,25	15,225	4,2875		
	Σ	8,40	525,0 0	135,6 0	183,75	47,46		

11. Gaya Gempa Per Lantai

Tabel 4. 7 Gaya Geser Per Lantai

Lantai i	W	e_x	e_y	Z_i	$W_i Z_i$	F_i	M_x	M_y
0	237,7206 6	0,7 7	0,2 1	0	0	0	0	0
1	531,9766 88	0,6 7	0,8 5	4	2127,906 752	20,57639 274	17,39200 372	13,78618 314
2	513,5699 24	0,3 7	0,8 7	7	3594,989 468	34,76276 164	30,40273 044	12,68841 883
3	508,6019 24	0,3 3	0,9 0	1 0	5086,019 24	49,18069 332	44,31806 068	16,38670 761
4	508,5349 078	0,3 3	0,9 0	1 3	6610,953 801	63,92647 69	57,60588 74	21,29991 293
5	508,5349 078	0,3 3	0,9 0	1 6	8136,558 524	78,67874 08	70,89955 373	26,21527 745
6	445,3846 118	0,6 2	0,6 4	1 9	8462,307 623	81,82866 332	52,74300 343	50,83004 263
7	74,14364	0,4 7	0,0 6	2 4	1779,447 36	17,20686 666	1,034041 927	8,087227 33
Σ					35798,18 277		274,3952 813	149,2937 699

12. Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai



Gambar 4. 1 Layout Kolom

Tabel 4. 8 Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai 1,2,3,

Elemen	as X (m)	as Y (m)	Fx (ton)	Fy (ton)	Fx (ton)	Fy (ton)	Fx (ton)	Fy (ton)
			Lt.1	Lt.1	Lt.2	Lt.2	Lt.3	Lt.3
kolom 1	0	0	0,235	0,842	0,360	1,434	0,463	2,031
kolom 2	0	4,7	0,235	0,855	0,360	1,446	0,463	2,046
kolom 3	0	12,25	0,235	0,875	0,360	1,465	0,463	2,071
kolom 4	5	0	0,377	0,842	0,609	1,434	0,825	2,031
kolom 5	5	4,7	0,377	0,855	0,609	1,446	0,825	2,046
kolom 6	5	12,25	0,377	0,875	0,609	1,465	0,825	2,071
kolom 7	12	0	0,576	0,842	0,957	1,434	1,333	2,031
kolom 8	12	4,7	0,576	0,855	0,957	1,446	1,333	2,046
kolom 9	12	12,25	0,576	0,875	0,957	1,465	1,333	2,071
kolom 10	19	0	0,776	0,842	1,305	1,434	1,841	2,031
kolom 11	19	4,7	0,776	0,855	1,305	1,446	1,841	2,046
kolom 12	19	12,25	0,776	0,875	1,305	1,465	1,841	2,071
kolom 13	26	0	0,975	0,842	1,654	1,434	2,348	2,031
kolom 14	26	4,7	0,975	0,855	1,654	1,446	2,348	2,046
kolom 15	26	12,25	0,975	0,875	1,654	1,465	2,348	2,071
kolom 16	33	0	1,174	0,842	2,002	1,434	2,856	2,031
kolom 17	33	4,7	1,174	0,855	2,002	1,446	2,856	2,046
kolom 18	33	12,25	1,174	0,875	2,002	1,465	2,856	2,071
kolom 19	36,5	0	1,274	0,842	2,176	1,434	3,110	2,031

kolom 20	36,5	4,7	1,274	0,855	2,176	1,446	3,110	2,046
kolom 21	36,5	12,25	1,274	0,875	2,176	1,465	3,110	2,071
kolom 22	43,5	0	1,473	0,842	2,524	1,434	3,618	2,031
kolom 23	43,5	4,7	1,473	0,855	2,524	1,446	3,618	2,046
kolom 24	43,5	12,25	1,473	0,875	2,524	1,465	3,618	2,071

Tabel 4. 9 Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai 4,5,6

Elemen	as X (m)	as Y (m)	Fx (ton)	Fy (ton)	Fx (ton)	Fy (ton)	Fx (ton)	Fy (ton)
			Lt.4	Lt.4	Lt.5	Lt.5	Lt.6	Lt.6
kolom 1	0	0	0,601	2,640	0,740	3,249	1,521	3,353
kolom 2	0	4,7	0,601	2,660	0,740	3,273	1,521	3,400
kolom 3	0	12,25	0,601	2,691	0,740	3,312	1,521	3,476
kolom 4	5	0	1,073	2,640	1,320	3,249	1,953	3,353
kolom 5	5	4,7	1,073	2,660	1,320	3,273	1,953	3,400
kolom 6	5	12,25	1,073	2,691	1,320	3,312	1,953	3,476
kolom 7	12	0	1,733	2,640	2,133	3,249	2,557	3,353
kolom 8	12	4,7	1,733	2,660	2,133	3,273	2,557	3,400
kolom 9	12	12,25	1,733	2,691	2,133	3,312	2,557	3,476
kolom 10	19	0	2,393	2,640	2,945	3,249	3,161	3,353
kolom 11	19	4,7	2,393	2,660	2,945	3,273	3,161	3,400
kolom 12	19	12,25	2,393	2,691	2,945	3,312	3,161	3,476
kolom 13	26	0	3,052	2,640	3,757	3,249	3,766	3,353

kolom 14	26	4,7	3,052	2,660	3,757	3,273	3,766	3,400
kolom 15	26	12,25	3,052	2,691	3,757	3,312	3,766	3,476
kolom 16	33	0	3,712	2,640	4,569	3,249	4,370	3,353
kolom 17	33	4,7	3,712	2,660	4,569	3,273	4,370	3,400
kolom 18	33	12,25	3,712	2,691	4,569	3,312	4,370	3,476
kolom 19	36,5	0	4,042	2,640	4,975	3,249	4,672	3,353
kolom 20	36,5	4,7	4,042	2,660	4,975	3,273	4,672	3,400
kolom 21	36,5	12,25	4,042	2,691	4,975	3,312	4,672	3,476
kolom 22	43,5	0	4,702	2,640	5,787	3,249	5,276	3,353
kolom 23	43,5	4,7	4,702	2,660	5,787	3,273	5,276	3,400
kolom 24	43,5	12,25	4,702	2,691	5,787	3,312	5,276	3,476

Tabel 4. 10 Gaya Gempa Per Kolom Per Lantai 7

Elemen	as X (m)	as Y (m)	Fx (ton)	Fy (ton)
			Lt.7	Lt.7
kolom 1	0	0	1,975	2,146
kolom 2	0	4,7	2,151	2,161
kolom 3	0	12,25		
kolom 4	5	0	2,206	2,151
kolom 5	5	4,7	2,206	2,161
kolom 6	5	12,25		
kolom 7	12	0		

kolom 8	12	4,7		
kolom 9	12	12,25		
kolom 10	19	0		
kolom 11	19	4,7		
kolom 12	19	12,25		
kolom 13	26	0	2,437	2,151
kolom 14	26	4,7	2,437	2,161
kolom 15	26	12,25		
kolom 16	33	0		
kolom 17	33	4,7	2,514	2,161
kolom 18	33	12,25		
kolom 19	36,5	0		
kolom 20	36,5	4,7		
kolom 21	36,5	12,25		
kolom 22	43,5	0		
kolom 23	43,5	4,7		
kolom 24	43,5	12,25		

13. Input Pada SAP 2000

Setelah didapatkan gaya gempa per kolom, maka gaya gempa tersebut diinputkan ke dalam program SAP 2000 dan diletakkan pada joint-joint .

4.3 Perencanaan Dimensi, Tulangan Pelat dan Tangga

4.3.1 Perencanaan Pelat

Pelat/slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam desain, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya dua kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (*one way slab*), dengan tulangan utama sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan bentang panjang (L_y) terhadap bentang pendek (L_x) besarnya kurang dari dua, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat menyebabkan kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung disekelilingnya, dengan demikian, pelat tersebut dapat didefinisikan sebagai pelat dua arah (*two way slab*), dengan tulangan utama dipasang dua arah yaitu searah sumbu x dan sumbu y, sedangkan tulangan susut dan tulangan suhu dipasang mengitari pelat tersebut. (*Desain Beton Bertulang, oleh C.K. Wang dan C.G. Salmon Bab 16*).

Pelat direncanakan menerima beban berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL$$

Dimana:

U = beban ultimate pelat

DL = beban mati pelat

LL = beban hidup pelat

4.3.1.1 Pembebanan Pelat Lantai

- Beban mati

Berat pelat (12 cm)	= 288 kg/m ²
Berat spesi (1 cm)	= 15 kg/m ²

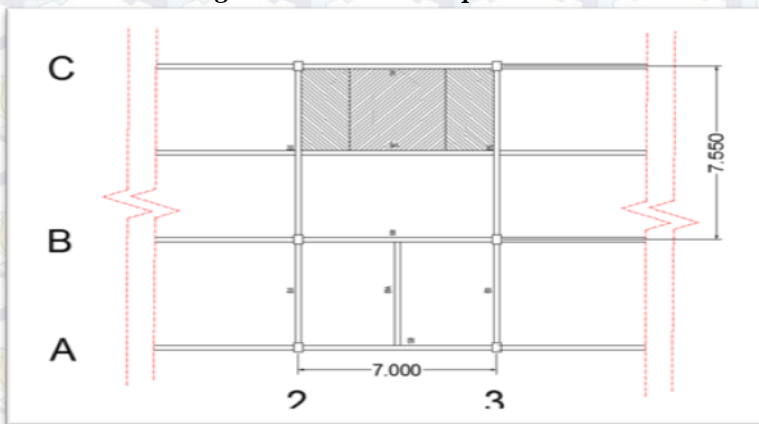
$$\begin{aligned}
 \text{Berat keramik (1 cm)} &= 17 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat plafond+penggantung} &= 42 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat perpipaan air} &= 25 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Instalasi listrik, AC, dll} &= 40 \text{ kg/m}^2 + \\
 q \text{ DL} &= 426 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

- Beban hidup
Beban hidup (Kantor) $= 240 \text{ kg/m}^2$
- Beban ultimate

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (426 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (240 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 895 \text{ kg/m}^2.
 \end{aligned}$$

4.3.1.2 Pelat Tipe 1

4.3.1.2.1 Perhitungan Momen Pelat Tipe 1



Gambar 4. 2 Denah Rencana Plat yang Ditinjau untuk Arah Y

- a. Arah Y
 - Mutu Beton (f_c') $= 30 \text{ MPa}$
 - Mutu Baja (f_y) $= 400 \text{ MPa}$
 - Tebal pelat $= 12 \text{ cm}$
 - Dimensi balok $= 40 \text{ cm} / 60 \text{ cm}$
 - Pelat 1 $= 7 \text{ m} / 3,875 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Pelat 2} &= 7 \text{ m} / 3,875 \text{ m} \\ E_{cb} = E_{cs} &= (4700 \times (\sqrt{f_c'})) \end{aligned}$$

$$= 25.742,96 \text{ Mpa}$$

$$I_b = \frac{400 \text{ mm} (600 \text{ mm})^3}{12}$$

$$= 7.2 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{7000 \text{ mm} (120 \text{ mm})^3}{12}$$

$$= 1,008 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cb} \cdot I_s} = 7,14$$

$$\text{Bentang pelat sumbu panjang } (L_y) = 700 \text{ cm}$$

$$\text{Bentang pelat sumbu pendek } (L_x) = 387.5 \text{ cm}$$

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{700}{387.5} = 1,81 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Distribusi Momen

- $l_n = l_x - (2 (0,5 \times 0,01 \times b \text{ balok}))$
 $= 3,875 (2 (0,5 \times 0,01 \times 40))$
 $= 3,48$
- $M_o = \frac{q_u \cdot l_y \cdot l_n^2}{8} = \frac{864.7 \cdot (3,48)^2}{8} = 9.461,4 \text{ kgm}$
- Momen negatif interior (M_{-i})
 $0,65 \times M_o = 6.149,9 \text{ kgm}$
- Momen positif (M_{+})
 $0,35 \times M_o = 3.311,5 \text{ kgm}$
- Momen negatif eksterior (M_{-e})
 $0,65 \times M_o = 6.149,9 \text{ kgm}$

Momen Negatif Interior

- Momen pada lajur kolom
 $M_{ik} = 0,75 \times - (M_{-i}) = -3.997,4 \text{ kgm}$
- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$

$$= -1.142,1 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah
 $M_{lt} = 0,25 \times -(M_{-i}) = -2.152,5 \text{ kgm}$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 \quad = 12,903 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i \text{ lajur kolom} = -3.397,8 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times M_i \text{ lajur kolom} = -599,6 \text{ kgm}$

Momen Positif

- Momen pada lajur kolom
 $M_{lk} = 0,6 \times -(M_{+}) = 2.152,5 \text{ kgm}$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$

$$= 615 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah
 $M_{lt} = 0,4 \times -(M_{+}) = 1.159 \text{ kgm}$

Cek:

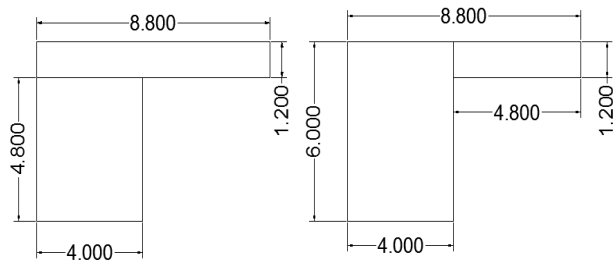
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 \quad = 12,903 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i \text{ lajur kolom} = 1.829,6 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times M_i \text{ lajur kolom} = 322,9 \text{ kgm}$

Momen Negatif Eksterior



Gambar 4. 3 Denah Momen Plat yang Ditinjau

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad C1 &= \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{Y} \right) \frac{x^3 Y}{3} \\
 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{400}{600} \right) \right) \right) \left(\frac{(400^3) 600}{3} \right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{480} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 480}{3} \right) \\
 &= 7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 \bullet \quad C2 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{480}{400} \right) \right) \right) \left(\frac{(480^3) 400}{3} \right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{880} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 880}{3} \right) \\
 &= 1,593 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai C yang terbesar, yakni C senilai $7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\beta_t = \frac{E_{cb} \cdot C}{2 \cdot E_{cs} \cdot I_g} = 3,66 \approx 2,5$$

13.6.4.2 Lajur kolom harus diproporsikan untuk menahan bagian berikut dalam persen momen terfaktor negatif eksterior:

ℓ_2/ℓ_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha \ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha \ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Berdasarkan interpolasi nilai pada tabel diatas,
presentase distribusi ialah 51%

Maka:

- $M_{\bar{e}}$ pada lajur kolom (M_{lk})
 $0,51 \times M_{\bar{e}} = -3.118 \text{ kgm}$
- $M_{\bar{e}}$ per satuan lebar
 $\frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y1}) + (0,25 \times l_{y2}))} = -890,9 \text{ kgm}$
- $M_{\bar{e}}$ pada lajur tengah (M_{lt})
 $M_{\bar{e}} + M_{lk} = -3.031,9 \text{ kgm}$

Cek:

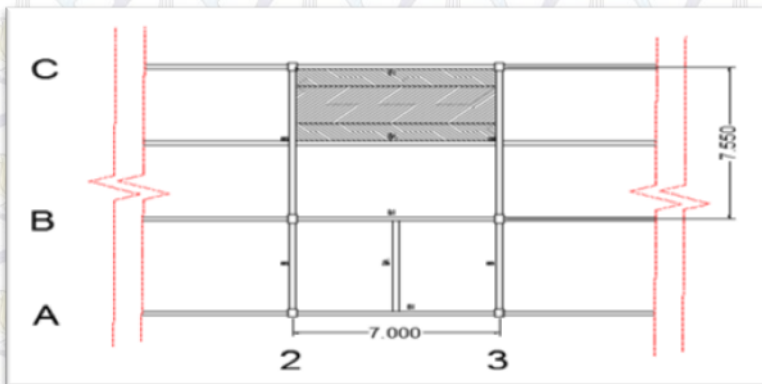
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 \quad = 12,903 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -2.650,3 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -467,7 kgm

b. Arah X



Gambar 4. 4 Denah Rencana Plat yang Ditinjau untuk Arah X

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

Tebal pelat = 12 cm

Dimensi balok = 40 cm / 60 cm

Pelat 1 = 3,875 m / 7 m

Pelat 2 = 3,875 m / 7 m

$E_{cb} = E_{cs} = (4700 \times (\sqrt{f_c}))$
 $= 25.742,96 \text{ Mpa}$

$I_b = \frac{400 \text{ mm} (600 \text{ mm})^3}{12}$

$= 7,2 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$I_s = \frac{3875 \text{ mm} (120 \text{ mm})^3}{12}$

$= 5,58 \times 10^8 \text{ mm}^4$

$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 12,90$

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 387.5 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 700 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{700}{387.5} = 0,55 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Distribusi Momen

- $l_n = l_x - (2 (0,5 \times 0,01 \times b \text{ balok}))$
 $= 6,6 \text{ m}$

- $M_o = \frac{q_u \cdot l_y \cdot l_n^2}{8} = 18.893 \text{ kgm}$

- Momen negatif interior (M_{-i})
 $0,65 \times M_o = 12.280,6 \text{ kgm}$

- Momen positif (M_{+})
 $0,35 \times M_o = 6.612,6 \text{ kgm}$

- Momen negatif eksterior (M_{-e})
 $0,65 \times M_o = 12.280,6 \text{ kgm}$

Momen Negatif Interior

- Momen pada lajur kolom
 $M_{ik} = 0,75 \times (-M_{-i}) = -7.982,4 \text{ kgm}$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_y,1) + (0,25 \times l_y,2))}$$

$$= -4.119,9 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{lt} = 0,25 \times (M_{-i}) = -4.298,2 \text{ kgm}$$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 7,1429 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -6.785 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -1.197,4 kgm

Momen Positif

- Momen pada lajur kolom

$$M_{lk} = 0,6 \times (M_{+}) = 5.455,4 \text{ kgm}$$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_y,1) + (0,25 \times l_y,2))}$$

$$= 2.815,7 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{lt} = 0,4 \times (M_{+}) = 1.157,2 \text{ kgm}$$

Cek:

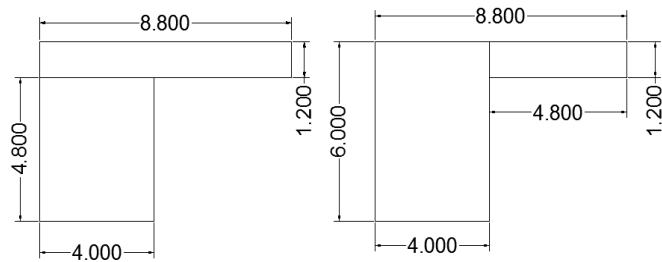
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 7,1429 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = 4.637,1 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = 818,3 kgm

Momen Negatif Eksterior



Gambar 4. 5 Denah Momen Plat yang Ditinjau

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad C1 &= \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{Y} \right) \frac{x^3 Y}{3} \\
 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{400}{600} \right) \right) \right) \left(\frac{(400^3) 600}{3} \right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{480} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 480}{3} \right) \\
 &= 7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 \bullet \quad C2 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{480}{400} \right) \right) \right) \left(\frac{(480^3) 400}{3} \right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{880} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 880}{3} \right) \\
 &= 1,593 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai C yang terbesar, yakni C senilai $7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\beta_t = \frac{E_{cb} \cdot C}{2 \cdot E_{cs} \cdot I_s} = 6,6 \approx 2,5$$

13.6.4.2 Lajur kolom harus diproporsikan untuk menahan bagian berikut dalam persen momen terfaktor negatif eksterior:

ℓ_2/ℓ_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha \ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha \ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Berdasarkan interpolasi nilai pada tabel diatas,
presentase distribusi ialah 89%

Maka:

- $M_{\bar{e}}$ pada lajur kolom (M_{lk})
 $0,89 \times M_{-\bar{e}} = -10.868,3 \text{ kgm}$
- $M_{\bar{e}}$ per satuan lebar

$$\frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_y,1) + (0,25 \times l_y,2))} = -5.609,5 \text{ kgm}$$
- $M_{\bar{e}}$ pada lajur tengah (M_{lt})
 $M_{-\bar{e}} + M_{lk} = -1.412,3 \text{ kgm}$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 7,1429 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -9.238,1 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -1.630,2 kgm

Tabel 4. 11 Rekap Momen

ARAH	TUMPUAN	LAPANGAN
X	-1.197,4 kgm	1.157,2 kgm
Y	-467,7 kgm	1.159 kgm

4.3.1.2.2 Perhitungan Penulangan Pelat Tipe 1

a. Data Perencanaan Pelat

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

Tebal pelat = 120 mm

Mutu Baja (f_{ys}) = 240 MPa

β = 0,85

ϕ = 0,9

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 700 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 3,875 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = 1,81 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Momen pada pelat:

Tulangan tumpuan

$$M_{tx} = -467,7 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = -1.197,36 \text{ kgm}$$

Tulangan lapangan

$$M_{tx} = 1.159,02 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = 1.157,21 \text{ kgm}$$

b. Tebal Manfaat Pelat

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm} \right) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm} \right) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Tulangan Minimum dan Maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0058$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,048$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,4$$

d. Kebutuhan Tulangan

○ Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 467,7 \text{ kgm} = 4.676.993,18 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = 5.196.659,089 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = 0,59$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.R_n}{f_y}} \right) = 0,0025$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,0058 > 0,0025 < 0,048$ (Tidak Oke)

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0058.

$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,0058 > 0,0058 < 0,048$ (Tidak Oke)

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{\min}

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 548,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 150

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ &= 753,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $\text{As}_{\text{pakai}} > \text{As}_{\text{perlu}}$
 $753,98 \text{ mm}^2 > 548,33 \text{ mm}^2$ (Oke)

Maka, digunakan tulangan Ø12-150.

- Tulangan Tumpuan Arah Y
 $M_{ty} = 1.197,4 \text{ kgm} = 11.973.580,93 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\theta} = 13.303.978,81 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d y^2} = 1,51$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.R_n}{f_y}} \right) = 0,0065$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$

$$0,006 < 0,0065 < 0,048 \text{ (Oke)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_y \\ &= 608,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 100

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ &= 1.130,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &: A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}} \\ &1.130,97 \text{ mm}^2 > 608,24 \text{ mm}^2 \text{ (Oke)} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan Ø12-100.

- Tulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 1.159,02 \text{ kgm} = 11.590.181,86 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\theta} = 12.877.979,84 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = 1,46$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0063$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &: \rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\ &0,006 < 0,0063 < 0,048 \text{ (Oke)} \end{aligned}$$

Maka digunakan ρ_{perlu}

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 830,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 100

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ &= 1.130,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &: A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}} \\ &= 1.130,97 \text{ mm}^2 > 830,33 \text{ mm}^2 \text{ (Oke)} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan Ø12-100.

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 1.157,21 \text{ kgm} = 11.572.099,91 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\theta} = 12.857.888,79 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 1,91$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,008$$

Syarat: $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,006 < 0,0083 < 0,048$ (Oke)

Maka digunakan ρ_{perlu}

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 779,37 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12 - 100

$$A_s \text{ pakai} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s)$$

$$= 1.130,97 \text{ mm}^2$$

Syarat : $A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$
 $1.130,97 \text{ mm}^2 > 779,37 \text{ mm}^2$ (Oke)

Maka, digunakan tulangan Ø12-100.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Tulangan

ARAH	TUMPUAN	LAPANGAN
X	Ø12 – 150	Ø12– 150
Y	Ø12– 100	Ø12- 100

TULANGAN SUSUT

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1 : untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0,0035

$$A_{\text{susut}} = \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal pelat}$$

$$= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

Syarat : $S_{\max} \leq 5h$ atau $S_{\max} \leq 450$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm} \\ = 600 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø8 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} = 232,71 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\max} \leq 5h$$

$$232,71 < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka digunakan s = 200 mm

Dipakai tulangan Ø8-200 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s} \\ = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ = 251,33 \text{ mm}^2$$

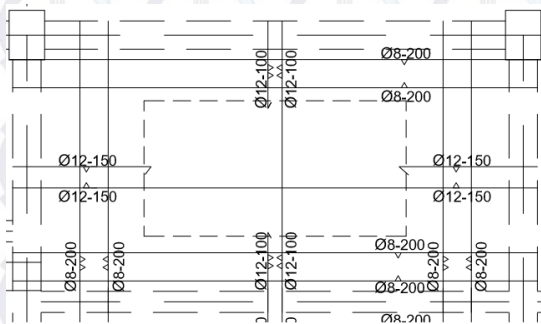
Syarat :

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$251,33 \text{ mm}^2 < 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

KESIMPULAN

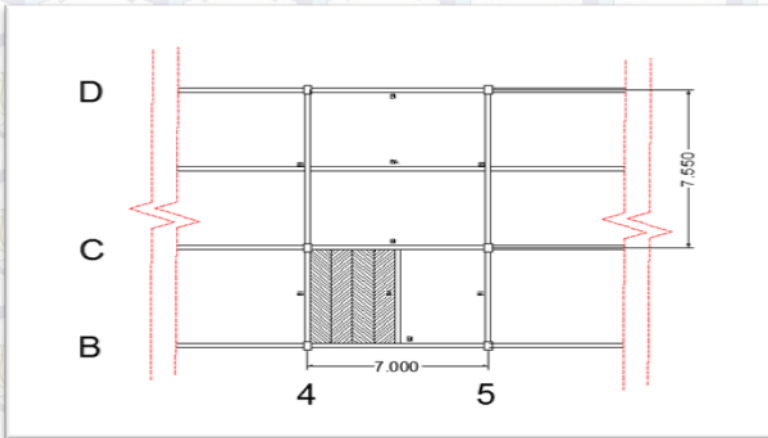
Dari perhitungan diatas, diperoleh bahwa as perlu untuk tulangan utama lebih besar daripada as untuk tulangan susut. **Maka untuk penulangan pelat diatas memakai tulangan susut minimum Ø8-200.**



Gambar 4. 6 Denah Pemasangan Tulangan Pelat Tipe 1

4.3.1.3 Pelat Tipe 2

4.3.1.3.1 Perhitungan Momen Pelat Tipe 2



Gambar 4. 7 Denah Rencana Plat yang Ditinjau untuk Arah Y

a. Arah Y

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

Tebal pelat = 12 cm

Dimensi balok = 40 cm / 60 cm

Pelat 1 = 3,5 m / 4,7 m

Pelat 2 = 3,5 m / 4,7 m

$E_{cb} = E_{cs} = (4700 \times (\sqrt{f_c'}))$

= 25.742,96 Mpa

$I_b = \frac{400 \text{ mm} (600 \text{ mm})^3}{12}$

= $7,2 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$I_s = \frac{7000 \text{ mm} (120 \text{ mm})^3}{12}$

= $5,04 \times 10^8 \text{ mm}^4$

$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 14,29$

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 470 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 350 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{470}{350} = 0,7447 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Distribusi Momen

- $l_n = l_x - (2 (0,5 \times 0,01 \times b \text{ balok}))$
 $= 4,35$
- $Mo = \frac{q_u \cdot l_y \cdot l_n^2}{8} = \frac{895,47 \cdot (4,35)^2}{8} = 7.413 \text{ kgm}$
- Momen negatif interior (M_{-i})
 $0,65 \times Mo = 4.818,4 \text{ kgm}$
- Momen positif (M_{+})
 $0,35 \times Mo = 2.594,5 \text{ kgm}$
- Momen negatif eksterior (M_{-e})
 $0,65 \times Mo = 4.818,4 \text{ kgm}$

Momen Negatif Interior

- Momen pada lajur kolom
 $M_{lk} = 0,75 \times - (M_{-i}) = -3.613,8 \text{ kgm}$
- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$
 $= -2.065 \text{ kgm}$
- Momen pada lajur tengah
 $M_{lt} = 0,25 \times - (M_{-i}) = -1.204,6 \text{ kgm}$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 10,638 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i \text{ lajur kolom} = -3.071,8 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times M_i \text{ lajur kolom} = -542,1 \text{ kgm}$

Momen Positif

- Momen pada lajur kolom

$$M_{lk} = 0,6 x - (M_+) = 1.556,7 \text{ kgm}$$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_y,1) + (0,25 \times l_y,2))}$$

$$= 889,6 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{lt} = 0,4 x - (M_+) = 1.037,8 \text{ kgm}$$

Cek:

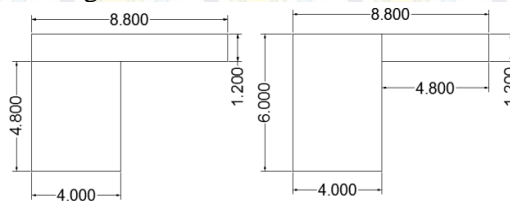
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 10,638 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -1.323,2 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -233,5 kgm

Momen Negatif Eksterior



Gambar 4. 8 Denah Momen Plat yang Ditinjau

$$\begin{aligned} \bullet \quad C1 &= \sum \left(1 - 0,63 \frac{X}{Y} \right) \frac{X^3 Y}{3} \\ &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{400}{600} \right) \right) \right) \left(\frac{(400^3) 600}{3} \right) \\ &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{480} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 480}{3} \right) \\ &= 7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad C2 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{480}{400}\right)\right)\left(\frac{(480^3)400}{3}\right)\right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{880}\right)\right)\left(\frac{(120^3)880}{3}\right)\right) \\
 &= 1,593 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai C yang terbesar, yakni C senilai $7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\beta t = \frac{E_{cb} \cdot C}{2 \cdot E_{cs} \cdot I_g} = 7,32 \approx 2,5$$

13.6.4.2 Lajur kolom harus diproporsikan untuk menahan bagian berikut dalam persen momen terfaktor negatif eksterior:

ℓ_2/ℓ_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha \ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha \ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Berdasarkan interpolasi nilai pada tabel diatas, presentase distribusi ialah 83%

Maka:

- $M_{\bar{e}}$ pada lajur kolom (M_{lk})
 $0,83 \times M_{-\bar{e}} = -3.989,7 \text{ kgm}$
- $M_{\bar{e}}$ per satuan lebar

$$\frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y1}) + (0,25 \times l_{y2}))} = -2.279,8 \text{ kgm}$$
- $M_{\bar{e}}$ pada lajur tengah (M_{lt})
 $M_{-\bar{e}} + M_{lk} = -828,8 \text{ kgm}$

Cek:

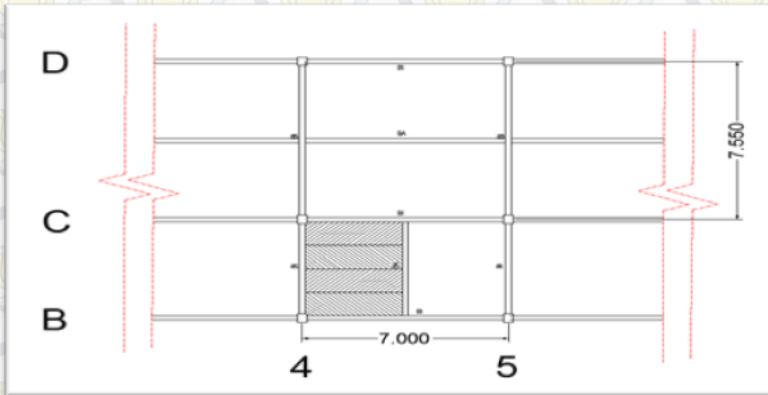
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1}\right) > 1 = 10,638 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i \text{ lajur kolom} = -3.391,2 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times M_i \text{ lajur kolom} = -598,5 \text{ kgm}$

b. Arah X



Gambar 4. 9 Denah Rencana Plat yang Ditinjau untuk Arah X

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu Beton (fc')} &= 30 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu Baja (fy)} &= 400 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal pelat} &= 12 \text{ cm} \\
 \text{Dimensi balok} &= 40 \text{ cm} / 60 \text{ cm} \\
 \text{Pelat 1} &= 4,7 \text{ m} / 3,5 \text{ m} \\
 \text{Pelat 2} &= 4,7 \text{ m} / 3,5 \text{ m} \\
 E_{cb} = E_{cs} &= (4700 \times (\sqrt{fc'})) \\
 &= 25742,96 \text{ Mpa} \\
 I_b &= \frac{400 \text{ mm} (600 \text{ mm})^3}{12} \\
 &= 7,2 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 I_s &= \frac{4700 \text{ mm} (120 \text{ mm})^3}{12} \\
 &= 6,768 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\
 \alpha &= \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = 10,64
 \end{aligned}$$

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 470 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 350 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{470}{350} = 1,34 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Distribusi Momen

- $l_n = l_x - (2 (0,5 \times 0,01 \times b \text{ balok}))$
 $= 3,10 \text{ m}$
- $Mo = \frac{q_u \cdot l_y \cdot l_n^2}{8} = 5.055,5 \text{ kgm}$
- Momen negatif interior (M_{-i}) = $0,65 \times Mo$
 $= 3.286,1 \text{ kgm}$
- Momen positif (M_{+})
 $0,35 \times Mo = 1.769,4 \text{ kgm}$
- Momen negatif eksterior (M_{-e})
 $0,65 \times Mo = 3.286,1 \text{ kgm}$

Momen Negatif Interior

- Momen pada lajur kolom
 $M_{ik} = 0,75 \times - (M_{-i}) = -2.464,6 \text{ kgm}$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{ik}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$

$$= -1.048,8 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{it} = 0,25 \times - (M_{-i}) = -821,5 \text{ kgm}$$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 14,286 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i \text{ lajur kolom} = -2.094,9 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times M_i \text{ lajur kolom} = -369,7 \text{ kgm}$

Momen Positif

- Momen pada lajur kolom

$$M_{ik} = 0,6 x - (M_+) = 1.061,7 \text{ kgm}$$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{ik}}{((0,25 x l_y,1) + (0,25 x l_y,2))}$$

$$= 451,8 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{it} = 0,4 x - (M_+) = 707,8 \text{ kgm}$$

Cek:

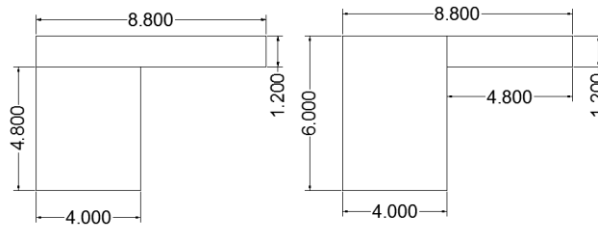
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 14,286 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = 902,4 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = 159,2 kgm

Momen Negatif Eksterior



Gambar 4. 10 Denah Momen Plat yang ditinjau

- C1
$$= \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{Y} \right) \frac{x^3 y}{3}$$

$$= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{400}{600} \right) \right) \right) \left(\frac{(400^3) 600}{3} \right)$$

$$+ \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{480} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 480}{3} \right)$$

$$= 7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$$
- C2
$$= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{480}{400} \right) \right) \right) \left(\frac{(480^3) 400}{3} \right)$$

$$+ (1 - (0,63(\frac{120}{880}))(\frac{(120^3)880}{3})) \\ = 1,593 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Maka diambil nilai C yang terbesar, yakni C senilai $7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\beta_t = \frac{E_{cb} \cdot C}{2 \cdot E_{cs} \cdot I_g} = 5,5 \approx 2,5$$

13.6.4.2 Lajur kolom harus diporsorsikan untuk menahan bagian berikut dalam persen momen terfaktor negatif eksterior:

ℓ_2/ℓ_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha \ell_2/\ell_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha \ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Berdasarkan interpolasi nilai pada tabel diatas, presentase distribusi ialah 65%

Maka:

- M_{ϵ}^- pada lajur kolom (M_{lk})
 $0,65 \times M_{-\epsilon} = -2.129,4 \text{ kgm}$
- M_{ϵ}^- per satuan lebar

$$\frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y1}) + (0,25 \times l_{y2}))} = -906,1 \text{ kgm}$$
- M_{ϵ}^- pada lajur tengah (M_{lt})
 $M_{-\epsilon} + M_{lk} = -1.156,7 \text{ kgm}$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 14,286 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -1.810 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = $-319,4 \text{ kgm}$

Tabel 4. 13 Rekap Momen

ARAH	TUMPUAN	LAPANGAN
X	-319,4 kgm	707,8 kgm
Y	-542,1 kgm	1.037,8 kgm

4.3.1.3.2 Perhitungan Penulangan Pelat Tipe 2

a. Data Perencanaan Pelat

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

Tebal pelat = 120 mm

β = 0,85

ϕ = 0,9

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 470 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 350 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = 1,34 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Momen pada pelat:

Tulangan tumpuan

$M_{t_x} = -319,41 \text{ kgm}$

$M_{t_y} = -542,07 \text{ kgm}$

Tulangan lapangan

$M_{t_x} = 707,78 \text{ kgm}$

$M_{t_y} = 1.037,82 \text{ kgm}$

b. Tebal Manfaat Pelat

$dx = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi$

= 120 mm – 20 mm – ($\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}$)

= 95 mm

$dy = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi$

= 120 mm – 20 mm – 10 mm – ($\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm}$)

= 85 mm

c. Tulangan Minimum dan Maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0058$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,41$$

d. Kebutuhan Tulangan

○ Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 319,4 \text{ kgm} = 3.194.091,631 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = 3.548.990,702 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 0,40$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0019$$

$$\text{Syarat} : \rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,006 > 0,002 < 0,0484 \quad (\text{Tidak Oke})$$

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0022.

$$\begin{array}{ccc} \rho_{\min} & \leq \rho_{\text{perlu}} & \leq \rho_{\max} \\ 0,006 & > 0,0022 & < 0,0484 \quad (\text{Tidak Oke}) \end{array}$$

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{\min}

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 548,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 200

$$\text{As pakai} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s)$$

$$= 565,49 \text{ mm}^2$$

Syarat : $A_{spakai} > A_{sperlu}$
 $565,49 \text{ mm}^2 > 548,33 \text{ mm}^2$ (Oke)

Maka, digunakan tulangan Ø12 -200.

- Tulangan Tumpuan Arah Y

$$M_{ty} = 542,1 \text{ kgm} = 5.420.744,541 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ty}}{\theta} = 6.023.049,49 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_y^2} = 0,68$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0029$$

Syarat : $\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$
 $0,006 > 0,003 < 0,0484$ (Tidak Oke)

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0037.

$$\begin{array}{ccc} \rho_{min} & \leq \rho_{perlu} & \leq \rho_{max} \\ 0,006 & > 0,0037 & < 0,0484 \end{array} \text{ (Tidak Oke)}$$

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{min}

$$\begin{array}{l} A_s \\ = \rho_{min} \times b \times d_y \\ = 548,33 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 200

$$\begin{array}{l} A_s \text{ pakai} \\ = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ = 565,49 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Syarat : $A_{spakai} > A_{sperlu}$
 $565,49 \text{ mm}^2 > 548,33 \text{ mm}^2$ (Oke)

Maka, digunakan tulangan Ø12 -200.

- Tulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 707,78 \text{ kgm} = 7.077.759,234 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\theta} = 7.864.176,927 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = 0,89$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0038$$

$$\text{Syarat} : \rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$$

$$0,006 > 0,0038 < 0,0484 \text{ (Tidak Oke)}$$

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0049.

$$\begin{array}{lll} \rho_{min} & \leq \rho_{perlu} & \leq \rho_{max} \\ 0,006 & > 0,0049 & < 0,0484 \text{ (Tidak Oke)} \end{array}$$

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{min}

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \times b \times d_y \\ &= 548,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ &= 565,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} : A_{spakai} &> A_{sperlu} \\ 565,49 \text{ mm}^2 &> 548,33 \text{ mm}^2 \text{ (Oke)} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan Ø12 -200.

- Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 1.037,82 \text{ kgm} = 10.378.177,58 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\theta} = 11.531.308,43 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dy^2} = 1,71$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.R_n}{f_y}} \right) = 0,007$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,006 < 0,007 < 0,0484$ (Oke)

Maka digunakan ρ_{perlu}

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 695,93 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12 - 200

$$A_s \text{ pakai} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s)$$

$$= 753,98 \text{ mm}^2$$

Syarat : $A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$
 $753,98 \text{ mm}^2 > 695,93 \text{ mm}^2$ (Oke)

Maka, digunakan tulangan Ø12 - 150.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Tulangan

ARAH	TUMPUAN	LAPANGAN
X	Ø12 – 200	Ø12 – 200
Y	Ø12 – 200	Ø12 - 150

TULANGAN SUSUT

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1 : untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0,0035

$$A_{s\text{susut}} = \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal pelat}$$

$$= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

Syarat : $S_{\max} \leq 5h$ atau $S_{\max} \leq 450$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø8 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} = 232,71 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\max} \leq 3h$$

$$232,71 < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka digunakan $s = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan Ø8-200 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 251,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

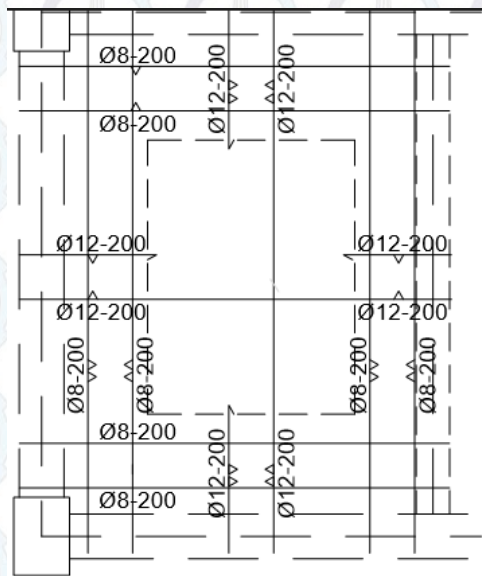
Syarat :

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$251,33 \text{ mm}^2 < 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

KESIMPULAN

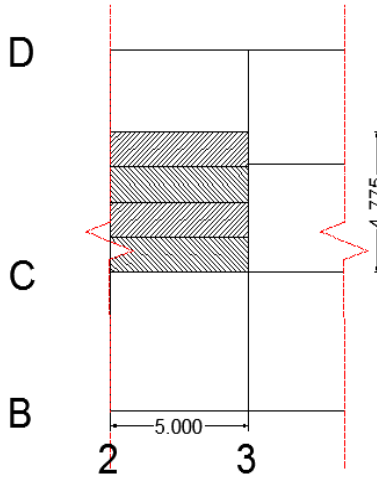
Dari perhitungan diatas, diperoleh bahwa a_s perlu untuk tulangan utama lebih besar daripada a_s untuk tulangan susut. **Maka untuk penulangan pelat diatas memakai tulangan susut minimum Ø8-200.**



Gambar 4. 11 Denah Pemasangan Tulangan Pelat
Tipe 2

4.3.1.4 Pelat Tipe 3

4.3.1.4.1 Perhitungan Momen Pelat Tipe 3



Gambar 4. 12 Denah Rencana Plat yang ditinjau untuk arah Y

a. Arah Y

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

Tebal pelat = 12 cm

Dimensi balok = 40 cm / 60 cm

Pelat 1 = 5 m / 4,8 m

Pelat 2 = 5 m / 4,8 m

$E_{cb} = E_{cs} = (4700 \times (\sqrt{f_c'}))$

= 25.742,96 Mpa

$I_b = \frac{400 \text{ mm} (600 \text{ mm})^3}{12}$

= $7,2 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$I_s = \frac{5000 \text{ mm} (120 \text{ mm})^3}{12}$

= $7,2 \times 10^8 \text{ mm}^4$

$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cb} \cdot I_s} = 10$

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 500 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 478 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{500}{478} = 1,0471 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Distribusi Momen

- $ln = l_x - (2 (0,5 \times 0,01 \times b \text{ balok}))$
= 4,43
- $Mo = \frac{q_u \cdot l_y \cdot ln^2}{8} = \frac{895,5 \cdot (4,43)^2}{8} = 10.958 \text{ kgm}$
- Momen negatif interior (M_{-i})
 $0,65 \times Mo = 7.122,9 \text{ kgm}$
- Momen positif (M_{+})
 $0,35 \times Mo = 3.835,4 \text{ kgm}$
- Momen negatif eksterior (M_{-e})
 $0,65 \times Mo = 7.122,9 \text{ kgm}$

Momen Negatif Interior

- Momen pada lajur kolom
 $M_{ik} = 0,75 \times (M_{-i}) = -4.629,9 \text{ kgm}$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{ik}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$

$$= -1.852 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{it} = 0,25 \times (M_{-i}) = -2.493 \text{ kgm}$$

Cek:

$$\propto \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 10,471 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times \text{Mi lajur kolom} = -3.935,4 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times \text{Mi lajur kolom} = -694,5 \text{ kgm}$

Momen Positif

- Momen pada lajur kolom

$$M_{ik} = 0,6 \times (M_+) = 2.493 \text{ kgm}$$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{ik}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$

$$= 997,2 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{lt} = 0,4 \times (M_+) = 1.342,4 \text{ kgm}$$

Cek:

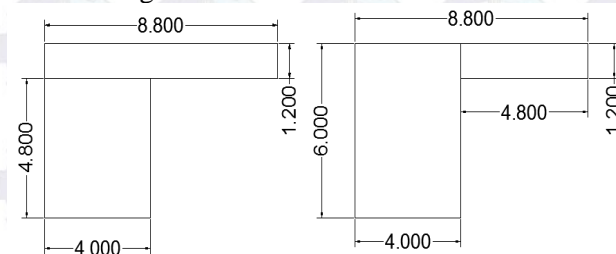
$$\propto \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 \quad = 10,471 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times \text{Mi lajur kolom} = 2.119,1 \text{ kgm}$

Pelat : $0,15 \times \text{Mi lajur kolom} = 374 \text{ kgm}$

Momen Negatif Eksterior



Gambar 4. 13 Denah Momen Plat yang Ditinjau

- $C1 = \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3}$

$$\begin{aligned}
 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{400}{600}\right)\right) \left(\frac{(400^3) 600}{3}\right)\right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{480}\right)\right) \left(\frac{(120^3) 480}{3}\right)\right) \\
 &= 7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 \bullet \quad C2 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{480}{400}\right)\right) \left(\frac{(480^3) 400}{3}\right)\right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{880}\right)\right) \left(\frac{(120^3) 880}{3}\right)\right) \\
 &= 1,593 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai C yang terbesar, yakni C senilai $7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\beta_t = \frac{E_{cb} \cdot C}{2 \cdot E_{cs} \cdot I_s} = 5,13 \approx 2,5$$

13.6.4.2 Lajur kolom harus diporsorsikan untuk menahan bagian berikut dalam persen momen terfaktor negatif eksterior:

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$(a_n l_2 / l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(a_n l_2 / l_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Berdasarkan interpolasi nilai pada tabel diatas, presentase distribusi ialah 74%

Maka:

- M_{ϵ}^- pada lajur kolom (M_{lk})
 $0,74 \times M_{-\epsilon} = -5.241,5 \text{ kgm}$
- M_{ϵ}^- per satuan lebar
 $\frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y1}) + (0,25 \times l_{y2}))} = -2.096,6 \text{ kgm}$
- M_{ϵ}^- pada lajur tengah (M_{lt})
 $M_{-\epsilon} + M_{lk} = -1.881,4 \text{ kgm}$

Cek:

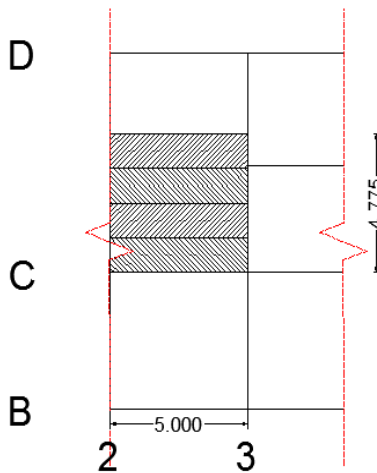
$$\propto \left(\frac{l_2}{l_1}\right) > 1 = 10,471 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -4.455,3 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -786,2 kgm

b. Arah X



Gambar 4. 14 Denah Rencana Plat yang Ditinjau untuk Arah X

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu Beton (fc')} &= 30 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu Baja (fy)} &= 400 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal pelat} &= 12 \text{ cm} \\
 \text{Dimensi balok} &= 40 \text{ cm} / 60 \text{ cm} \\
 \text{Pelat 1} &= 4,78 \text{ m} / 5 \text{ m} \\
 \text{Pelat 2} &= 4,78 \text{ m} / 5 \text{ m} \\
 E_{cb} = E_{cs} &= (4700 \times (\sqrt{fc'})) \\
 &= 25742,96 \text{ Mpa} \\
 I_b &= \frac{400 \text{ mm} (600 \text{ mm})^3}{12} \\
 &= 7,2 \times 10^9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$I_s = \frac{4700 \text{ mm} (120 \text{ mm})^3}{12} = 6,768 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cb} \cdot I_s} = 10,47$$

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 478 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 500 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{478}{500} = 0,96 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Distribusi Momen

- $l_n = l_x - (2 (0,5 \times 0,01 \times b \text{ balok})) = 4,60 \text{ m}$
- $M_o = \frac{q_u \cdot l_y \cdot l_n^2}{8} = 11.309 \text{ kgm}$
- Momen negatif interior (M_{-i}) = $0,65 \times M_o = 7.351 \text{ kgm}$
- Momen positif (M_{+}) = $0,35 \times M_o = 3.958,3 \text{ kgm}$
- Momen negatif eksterior (M_{-e}) = $0,65 \times M_o = 7.351 \text{ kgm}$

Momen Negatif Interior

- Momen pada lajur kolom
 $M_{lk} = 0,75 \times (M_{-i}) = -4.043,1 \text{ kgm}$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_y, 1) + (0,25 \times l_y, 2))} = -1.693,4 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah
 $M_{lt} = 0,25 \times (M_{-i}) = -2.572,9 \text{ kgm}$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 10 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -3.436,6 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -606,5 kgm

Momen Positif

- Momen pada lajur kolom

$$M_{ik} = 0,6 \times (M_+) = 3.256,6 \text{ kgm}$$

- Momen per satuan lebar

$$M = \frac{M_{ik}}{((0,25 \times l_{y,1}) + (0,25 \times l_{y,2}))}$$

$$= 1.367,8 \text{ kgm}$$

- Momen pada lajur tengah

$$M_{it} = 0,4 \times (M_+) = 692,7 \text{ kgm}$$

Cek:

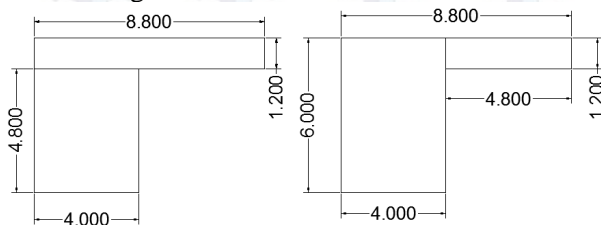
$$\alpha \left(\frac{l_2}{l_1} \right) > 1 = 10 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = 2.775,7 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = 489,8 kgm

Momen Negatif Eksterior



Gambar 4. 15 Denah Momen Plat yang Ditinjau

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad C1 &= \sum \left(1 - 0,63 \frac{X}{Y} \right) \frac{X^3 Y}{3} \\
 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{400}{600} \right) \right) \right) \left(\frac{(400^3) 600}{3} \right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{480} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 480}{3} \right) \\
 &= 7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 \bullet \quad C2 &= \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{480}{400} \right) \right) \right) \left(\frac{(480^3) 400}{3} \right) \\
 &\quad + \left(1 - \left(0,63 \left(\frac{120}{880} \right) \right) \right) \left(\frac{(120^3) 880}{3} \right) \\
 &= 1,593 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai C yang terbesar, yakni C senilai $7,38 \times 10^9 \text{ mm}^4$

$$\beta_t = \frac{E_{cb} \cdot C}{2 \cdot E_{cs} \cdot I_s} = 5,4 \approx 2,5$$

13.6.4.2 Lajur kolom harus diproporsikan untuk menahan bagian berikut dalam persen momen terfaktor negatif eksterior:

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha t_2/t_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha t_2/t_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Berdasarkan interpolasi nilai pada tabel diatas, presentase distribusi ialah 76%

Maka:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M_{e-} \text{ pada lajur kolom } (M_{lk}) &= 0,76 \times M_{-e} = -5.612,5 \text{ kgm} \\
 \bullet \quad M_{e-} \text{ per satuan lebar} &= \frac{M_{lk}}{((0,25 \times l_{y1}) + (0,25 \times l_{y2}))} = -2.350,8 \text{ kgm} \\
 \bullet \quad M_{e-} \text{ pada lajur tengah } (M_{lt}) &= M_{-e} + M_{lk} = -1.738,5 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Cek:

$$\alpha \left(\frac{I_2}{I_1} \right) > 1 = 10 > 1 \quad (\text{OK})$$

Maka 85% momen pada lajur kolom DAPAT dilimpahkan ke balok, sedangkan 15% dipikul oleh pelat.

Balok : $0,85 \times M_i$ lajur kolom = -4.770,6 kgm

Pelat : $0,15 \times M_i$ lajur kolom = -841,9 kgm

Tabel 4. 15 Rekap Momen

ARAH	TUMPUAN	LAPANGAN
X	-606,5 kgm	692,7 kgm
Y	-694,5 kgm	1.342,4 kgm

4.3.1.4.2 Perhitungan Penulangan Pelat Tipe 3

a. Data Perencanaan Pelat

Mutu Beton (f_c') = 30 MPa

Mutu Baja (f_y) = 400 MPa

Tebal pelat = 120 mm

β = 0,85

ϕ = 0,9

Bentang pelat sumbu panjang (L_y) = 470 cm

Bentang pelat sumbu pendek (L_x) = 350 cm

Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek bentang pada pelat:

$$\frac{L_y}{L_x} = 1,34 \leq 2 \quad (\text{Two Way Slab})$$

Momen pada pelat:

Tulangan tumpuan

$M_{t_x} = -694,48$ kgm

Tulangan lapangan

$M_{t_x} = 1.342,39$ kgm

$M_{t_y} = -606,46$ kgm

$M_{t_y} = 692,69$ kgm

b. Tebal Manfaat Pelat

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm} \right) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi - \frac{1}{2} \phi \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \text{ mm} \right) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Tulangan Minimum dan Maksimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0058$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,41$$

d. Kebutuhan Tulangan

o Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 694,5 \text{ kgm} = 6.944.820,585 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = 7.716.467,317 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = 0,87$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,004$$

$$\text{Syarat} : \rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,006 > 0,0037 < 0,0484 \quad (\text{Tidak Oke})$$

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0048.

$$\begin{array}{ccc} \rho_{\min} & \leq \rho_{\text{perlu}} & \leq \rho_{\max} \\ 0,006 & > 0,0048 & < 0,0484 \quad (\text{Tidak Oke}) \end{array}$$

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{\min}

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 548,33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 200

$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ &= 565,49 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &: \text{As}_{\text{pakai}} > \text{As}_{\text{perlu}} \\ &565,49 \text{ mm}^2 > 548,33 \text{ mm}^2 \text{ (Oke)}\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan Ø12 -200.

- Tulangan Tumpuan Arah Y

$$\text{Mty} = 606,5 \text{ kgm} = 6.064.609,589 \text{ Nmm}$$

$$\text{M}_n = \frac{\text{Mty}}{\theta} = 6.738.455,098 \text{ Nmm}$$

$$\text{R}_n = \frac{\text{M}_n}{b \times d y^2} = 0,76$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot \text{R}_n}{f_y}} \right) = 0,0032$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &: \rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max} \\ &0,006 > 0,0032 < 0,0484 \text{ (Tidak Oke)}\end{aligned}$$

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0042.

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &\leq \rho_{\text{perlu}} &\leq \rho_{\max} \\ 0,006 &> 0,0042 &< 0,0484 \text{ (Tidak Oke)}\end{aligned}$$

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{\min}

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 548,33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 200

$$\text{As pakai} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s)$$

$$= 565,49 \text{ mm}^2$$

Syarat : $A_{Spakai} > A_{Sperlu}$
 $565,49 \text{ mm}^2 > 548,33 \text{ mm}^2$ (Oke)

Maka, digunakan tulangan Ø12 - 200.

- Tulangan Lapangan Arah X
 $M_{lx} = 1.342,39 \text{ kgm} = 13.423.913,56 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_{lx}}{\theta} = 14.915.459,51 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = 1,69$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0073$$

Syarat : $\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$
 $0,006 < 0,0073 < 0,0484$ (Oke)

Maka digunakan ρ_{perlu}
 $A_s = \rho \times b \times d$

$$= 684,61 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12 - 150

$$A_s \text{ pakai} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s)$$

$$= 753,98 \text{ mm}^2$$

Syarat : $A_{Spakai} > A_{Sperlu}$
 $753,98 \text{ mm}^2 > 684,61 \text{ mm}^2$ (Oke)

- Tulangan Lapangan Arah Y
 $M_{ly} = 692,69 \text{ kgm} = 6.926.943,353 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_{ly}}{\theta} = 7.696.603,725 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times y^2} = 1,14$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,005$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,006 > 0,0049 < 0,0484$ (Tidak Oke)

Karena ρ_{perlu} tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dikalikan 30%, sehingga ρ_{perlu} menjadi 0,0063.

$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$
 $0,006 > 0,0063 < 0,0484$ (Tidak Oke)

Apabila setelah dikalikan 30% tetap tidak terpenuhi, maka dipakailah ρ_{\min}

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 596,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12 - 150

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times (b/s) \\ &= 753,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat : $\text{As}_{\text{pakai}} > \text{As}_{\text{perlu}}$
 $753,98 \text{ mm}^2 > 596,52 \text{ mm}^2$ (Oke)

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Tulangan

ARAH	TUMPUAN	LAPANGAN
X	Ø12 – 200	Ø12 – 150
Y	Ø12 – 200	Ø12 - 150

TULANGAN SUSUT

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.12.2.1 : untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) = 0,0035

$$\begin{aligned} A_{\text{susut}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat : } S_{\max} \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450$$

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan Ø8 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} = 232,71 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\max} \leq 5h$$

$$232,71 < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka digunakan $s = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan Ø8-200 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150} \\ &= 251,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

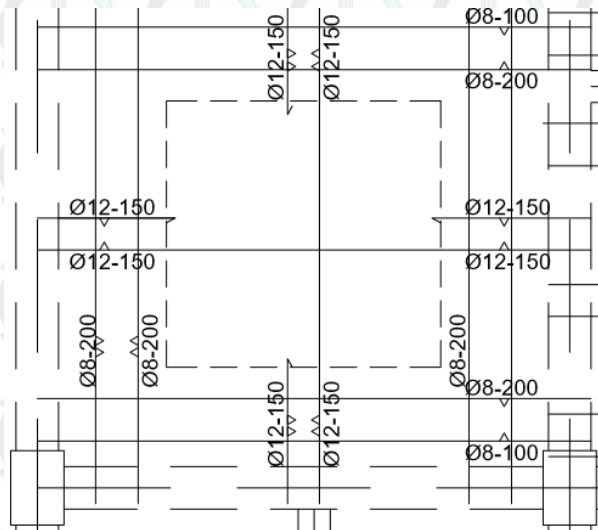
Syarat :

$$A_{s_{\text{pakai}}} > A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$251,33 \text{ mm}^2 < 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

KESIMPULAN

Dari perhitungan diatas, diperoleh bahwa as perlu untuk tulangan utama lebih besar daripada as untuk tulangan susut. **Maka untuk penulangan pelat diatas memakai tulangan susut minimum Ø8-200.**



Gambar 4. 24 Denah Pemasangan Tulangan Pelat
Tipe 3

4.3.2 Perencanaan Tangga

Berikut ini adalah data perencanaan dalam perhitungan penulangan pelat tangga dan pelat bordes berdasarkan metode SRPMM :

- Data-data Perencanaan

Tinggi Pelat Bordes	= 2000 mm
Tebal Pelat Tangga	= 150 mm
Tebal Pelat Bordes	= 150 mm
Lebar Injakan	= 300 mm
Tinggi Tanjakan	= 200 mm

4.3.2.1 Pembebanan pada Tangga

- ❖ Pembebanan pada Pelat Tangga

- Beban Mati:

Berat pelat (15 cm)	= 360	kg/m ²
Berat anak tangga	= 264	kg/m ²
Berat spesi (1,5 cm)	= 15	kg/m ²
Berat keramik (1 cm)	= 16,5	kg/m ²
Berat railing	= 10	kg/m ² +
q DL	= 642	kg/m ²

- Beban Hidup:

Beban hidup pada tangga	= 641	kg/m ²
-------------------------	-------	-------------------

- ❖ Pembebanan pada Pelat Bordes

- Beban Mati:

Berat pelat (15 cm)	= 360	kg/m ²
Berat spesi (1,5 cm)	= 15	kg/m ²
Berat keramik (1 cm)	= 16,5	kg/m ²
Berat railing	= 10	kg/m ² +
q DL	= 402	kg/m ²

- Beban Hidup:

Beban hidup pada bordes	= 641	kg/m ²
-------------------------	-------	-------------------

4.3.2.2 Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

a. Type 1 (1,3 m - 3,5 m)

Adapun data-data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mutu Beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu Tulangan (f_y)	= 240 MPa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut Beton	= 20 mm

Tulangan Minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,00583$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0645$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,4118$$

Dari program SAP 2000 didapatkan momen

$$M_x = 1.727,25 \text{ kg.m}$$

$$M_y = 808,58 \text{ kg.m}$$

Tebal Manfaat Pelat:

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \emptyset_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Arah X (M22)

$$Mu = 17.272.500 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 20.320.588,2 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = 1,62$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.R_n}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0070$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \times x$$

$$= 865,393 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12 – 100 mm

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 1.130,973 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pakai}}$$

$$865,393 \text{ mm}^2 < 1.130,973 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-100 mm

Perhitungan Penulangan Arah Y (M11)

$$M_u = 8.085.800 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 9.512.705,88 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2}$$

$$= 0,619$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.R_n}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0026$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \times x$$

$$= 653,33 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12mm –150 mm

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pakai}}$$

$$653,33 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

b. Type 2 (1,3 m - 3,65 m)

Adapun data-data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mutu Beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu Tulangan (f_y)	= 240 MPa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 120 mm
Tebal Selimut Beton	= 20 mm

Tulangan Minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,00583$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0645$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,4118$$

Dari program SAP 2000 didapatkan momen

$$M_x = 951,11 \text{ kg.m}$$

$$M_y = 2.028,99 \text{ kg.m}$$

Tebal Manfaat Pelat:

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{lentur}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \text{Ø}_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{lentur}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Arah X (M22)

$$M_u = 9.511.100 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 11.189.529,4 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = 0,8920$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0038$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 723,333 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12 – 150 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s} = 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pakai}}} \\ 723,333 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-250 mm

Perhitungan Penulangan Arah Y (M11)

$$M_u = 20.289.900 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 23.870.470,6 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d \times x^2} = 1,5524$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0067$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 747,984 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12mm – 150 mm

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s} = 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$A_{S_{perlu}} < A_{S_{pakai}}$
 $747,984 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2$ (**memenuhi**)
 Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

c. Type 3 (1,3 m – 1,7 m)

Adapun data-data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mutu Beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu Tulangan (f_y)	= 240 MPa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 120 mm
Tebal Selimut Beton	= 20 mm

Tulangan Minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,00583$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0645$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,4118$$

Dari program SAP 2000 didapatkan momen

$$M_x = 762,02 \text{ kg.m}$$

$$M_y = 1.358,12 \text{ kg.m}$$

Tebal Manfaat Pelat:

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{lentur} \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\
 &= 124 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \phi_{lentur} - \frac{1}{2} \phi_{lentur} \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Arah X (M11)

$$Mu = 7.620.200 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 8.964.941,18 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = 0,715$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.Rn}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0030$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times dx$$

$$= 723,333 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12mm – 150 mm

$$As_{\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pakai}}$$

$$723,333 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

Perhitungan Penulangan Arah Y (M22)

$$Mu = 13.581.200 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 15.977.882,4 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2}$$

$$= 1,039$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.Rn}{f_y}} \right)$$

$$= 0,0044$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times dx$$

$$= 723,333 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12mm – 150 mm

$$As_{\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pakai}}$$

$$723,333 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

4.3.2.3 Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

a. Tipe 1 (2,6 m – 2,1 m)

Adapun data-data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Mutu Beton (} f'_c \text{)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Tulangan (} f_y \text{)} = 240 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\text{Tebal Pelat} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

Tulangan Minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,00583$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0645$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = 9,4118$$

Dari program SAP 2000 didapatkan momen

$$M11 = 561,26 \text{ kg.m}$$

$$M22 = 1.169,55 \text{ kg.m}$$

Tebal Manfaat Pelat:

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{lentur}} \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \text{Ø}_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{lentur}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Arah X (M22)

$$Mu = 5.612.600 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 6.603.058,82 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d \times d^2} = 0,5264$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.Rn}{f_y}} \right) \\
 &= 0,0022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 723,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12mm –150 mm

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s} \\
 &= 753,982 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$AS_{\text{perlu}} < AS_{\text{pakai}}$$

$$723,33 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

Perhitungan Penulangan Arah Y (M11)

$$Mu = 11.695.500 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 13.759.411,8 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d \times d^2} \\
 &= 0,8949
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.Rn}{f_y}} \right) \\
 &= 0,0038
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 653,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12mm – 150 mm

$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s_{perlu}} < A_{s_{pakai}}$$

$$653,33 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

b. Tipe 2 (1,05 m – 2,6 m)

Adapun data-data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mutu Beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu Tulangan (f_y)	= 240 MPa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut Beton	= 20 mm

Tulangan Minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,00583$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0645$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,4118$$

Dari program SAP 2000 didapatkan momen

$$M11 = 1.434,14 \text{ kg.m}$$

$$M22 = 701,49 \text{ kg.m}$$

Tebal Manfaat Pelat:

$$dx = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{lentur}$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 &= 124 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \emptyset_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Arah X (M22)

$$Mu = 14.341.400 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 16.872.235,3 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d \times d^2} = 1,3450$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.Rn}{f_y}} \right) \\
 &= 0,0058
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 723,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12mm – 150 mm

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{s} \\
 &= 753,982 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$AS_{\text{perlu}} < AS_{\text{pakai}}$$

$$723,33 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

Perhitungan Penulangan Arah Y (M11)

$$Mu = 7.014.900 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 8.252.823,53 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d \times d^2} \\
 &= 0,5367
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2.m.Rn}{f_y}} \right) \\
 &= 0,0023
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 653,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan Ø12mm – 150 mm

$$A_{spakai} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{sperlu} < A_{spakai}$$

$$653,33 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

c. Tipe 3 (1,3 m – 1,5 m)

Adapun data-data perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mutu Beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu Tulangan (f_y)	= 240 MPa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut Beton	= 20 mm

Tulangan Minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,00583$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} = 0,0645$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0484$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 9,4118$$

Dari program SAP 2000 didapatkan momen

$$M_{11} = 2.189,73 \text{ kg.m}$$

$$M_{22} = 1.895,63 \text{ kg.m}$$

Tebal Manfaat Pelat:

$$dx = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \phi_{lentur}$$

$$\begin{aligned}
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\
 &= 124 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \emptyset_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{1}{2} 12 \text{ mm} \\
 &= 112 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan Arah X (M11)

$$Mu = 21.897.300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 25.761.529,4 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = 2,0537$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= 0,0089
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times dx \\
 &= 1.107,63 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan $\emptyset 12\text{mm} - 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 AS_{\text{pakai}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times b}{s} \\
 &= 1.130,973 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$AS_{\text{perlu}} < AS_{\text{pakai}}$$

$$1.107,63 \text{ mm}^2 < 1.130,973 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan $\emptyset 12-100 \text{ mm}$

Perhitungan Penulangan Arah Y (M22)

$$Mu = 18.956.300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = 22.301.529,4 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\
 &= 1,4504
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= 0,0062
 \end{aligned}$$

$$AS_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times dx$$

$$= 697,29 \text{ mm}^2$$

Dicoba tulangan Ø12 – 150 mm

$$A_{\text{pakai}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{s}$$

$$= 753,982 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{\text{perlu}} < A_{\text{pakai}}$$

$$697,29 \text{ mm}^2 < 753,982 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø12-150 mm

Rekap Penulangan Plat Tanga dan Bordes

Tabel 4. 17 Rekap Penulangan Plat Tangga dan Bordes

NAMA	DIMENSI (m)	ARAH	TULANGAN
Plat Bordes 1	2,6 x 2,1	X	Ø 12 - 150
		Y	Ø 12 - 150
Plat Bordes 2	1,05 x 2,6	X	Ø 12 - 150
		Y	Ø 12 - 150
Plat Bordes 3	1,3 x 1,5	X	Ø 12 - 100
		Y	Ø 12 - 150
Plat Tangga 1	1,3 x 3,5	X	Ø 12 - 100
		Y	Ø 12 - 150
Plat Tangga 2	1,3 x 3,65	X	Ø 12 - 150
		Y	Ø 12 - 150
Plat Tangga 3	1,3 x 1,7	X	Ø 12 - 150
		Y	Ø 12 - 150

4.4 Perhitungan Balok

Setelah dilakukan analisa menggunakan program SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam yang nanti digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa

1. $U = 1,4 D$
2. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$
3. $U = 1,2 D + 1 L_r + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $U = 0,9 D + 1,6 W$

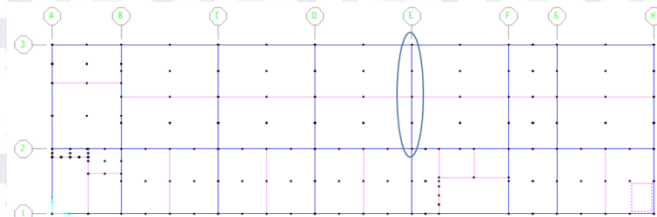
Kombinasi pembebanan gempa

1. $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
2. $U = 0,9 D + 1,0 E$

4.4.1 Perhitungan Balok Induk

a.Data Perencanaan

Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pemalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok sebagai berikut :



Gambar 4. 16 Denah Balok Induk yang Ditinjau

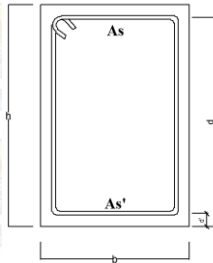
Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

Bentang Balok (L)	= 7550 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 400 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 600 mm
Bentang Kolom (L_{kolom})	= 4000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Kuat Leleh Tulangan Puntir (f_{yt})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (D_{lentur})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Diameter Tulangan Puntir ($\emptyset_{\text{puntir}}$)	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (S_{sejajar})	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{\text{antar lapis}}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,8
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ)	= 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 539 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 17 Tinggi Efektif Balok

- b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa SAP 2000

Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi $1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey$ adalah kombinasi kritis dalam permodelan. *Frame* yang ditinjau yakni *frame 51*

Hasil Output Gaya Aksial



Gambar 4. 18 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000

Kombinasi $1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey$

Gaya Aksial (Pu) = 2.034,39 kg

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 19 Output Momen Torsi SAP 2000

Kombinasi $1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey$

Momen Torsi (Tu) = 1.087,13 kg.m

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 20 Output Momen Lentur SAP 2000
Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey



Gambar 4. 21 Output Momen Lentur SAP 2000
Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey



Gambar 4. 22 Output Momen Lentur SAP 2000
Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Momen Tumpuan Kiri = 43.729,01 kg.m
Momen Lapangan = 18.685,03 kg.m
Momen Tumpuan Kanan = 2.932,79 kg.m

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 23 Output Gaya Geser SAP 2000 Kombinasi
1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey
Gaya Geser Terfaktor V_u = 21.172,17 kg

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi

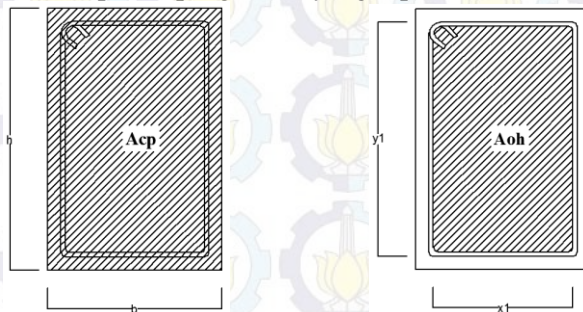
ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2}{10} = 720.000 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey pada komponen struktur sebesar 20.343,9 N < 720.000 N

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 40/60



Gambar 4. 24 Luas Penampang Balok

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 240.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ &= 2.000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkan

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \times (600 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \\ &= 150.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkan

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) + ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}))] \\ &= 2 \times [(400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) + (600 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}))] \\ &= 1.600 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari program SAP 2000 diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

$$T_u = 1.087,13 \text{ kg.m} = 10.871.300 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = 14.495.066,67 \text{ N.mm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(240.000 \text{ mm}^2)}{2.000 \text{ mm}} \right) \\ &= 9.819.570,011 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(240.000 \text{ mm}^2)}{2.000 \text{ mm}} \right) \\ &= 39.041.663,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{min} > Tu$ → tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu$ → memerlukan tulangan puntir

$Tu_{min} < Tu$

$9.819.570,011 \text{ N.mm} < 10.871.300 \text{ N.mm} \rightarrow$ **(maka memerlukan tulangan puntir)**

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{bw \times d} + 0,66\sqrt{f'c}\right)$$

$0,455 < 3,396$ **(memenuhi)**

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \times \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 \times A_{oh}$
 $= 127500 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi} = 0,384 \text{ mm}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

$$= 140,4 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$A_l \min = \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

$$= 1.012 \text{ mm}^2$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,38364 \geq 0,292 \rightarrow (\text{memenuhi})$$

Maka diambil nilai $A_t/s = 0,38364$

Kontrol :

$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\min}$ maka gunakan $A_{l\text{perlu}}$

$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\min}$ maka gunakan $A_{l\min}$

$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\min}$

$$140,4 \text{ mm}^2 < 1.012 \text{ mm}^2 \quad (\text{maka gunakan } A_{l\min})$$

Maka diperlukan tulangan puntir sebesar 1.012 mm^2

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1.012 \text{ mm}^2}{4} = 253 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal

Direncanakan tulangan diameter 16 mm

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$= 1,259 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Maka dipasang tulangan puntir 2Ø16

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal

$$A_s = n \times \text{Luasan } \emptyset \text{ puntir} = 401,92 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$401,92 \text{ mm}^2 \geq 253 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2D16

4.4.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = 323,4 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 242,6 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_{c'} &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm} \\ &= 1.300.500 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (A_{sc})

$$A_{sc} = \frac{C_{c'}}{f_y} = \frac{1.300.500 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} = 3.251 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) = 700.416.787,5 \text{ N.mm}$$

- DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

TUMPUAN KIRI

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 437.290.100 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 546.612.625 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -153.804.163 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 4,70 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right] = 0,0131$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0131 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 2.825,79 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{Dlentur}}} = \frac{2.825,79}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 7,437 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 3040 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\ 2.825,79 \text{ mm}^2 &< 3040 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 8D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$18 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\text{maks}} < 30 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1 (6D22)

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 34 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$34 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2 (2D22)

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$256 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 1/3 As \text{ Tarik} = 941,9309 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan \phi \text{ lentur}} = \frac{941,9309}{0,25 \times \pi \times 22^2}$$

$$= 2,479 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$As_{pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1140 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As_{perlu} < As_{pasang}$$

$$941,9309 \text{ mm}^2 < 1140 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{max} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{max} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 117 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$117 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 3040 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ M lentur tumpuan (-)

$$1140 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 3040 \text{ mm}^2$$

$$1140 \text{ mm}^2 \geq 1013,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 8D22} = 3040 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3D22} = 1140 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_{s \text{ pakai tulangan tarik}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= 119,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 3040 \times 400 \times \left(539 - \frac{119,2}{2} \right)$$

$$= 582.950.400 \text{ N.mm}$$

Syarat :

$$Mn_{\text{perlu}} < Mn_{\text{pasang}}$$

$$543.884.750 \text{ N.mm} < 582.950.400 \text{ N.mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun dua lapis
Lapis 1 = 6D22
Lapis 2 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 3D22

TUMPUAN KANAN

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 29.327.913 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 36.659.875 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -663.756.913 \text{ N.mm} < 0 \quad (\text{maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum})$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 0,32 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0008$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,0008 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 171,1 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{Luasan D_{\text{lentur}}} = \frac{171,1}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 0,45 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$171,1 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 1/3 \text{ As Tarik} = 57,03 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} = \frac{57,03}{0,25 \times \pi \times 22^2}$$

$$= 0,15 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$As_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}}$$

$$57,03 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 25,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 2D22} = 760 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D22} = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_{s \text{ pakai tulangan tarik}} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \right) \\ &= \left(\frac{760 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right) \\ &= 29,81 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 760 \times 400 \times \left(539 - \frac{29,81}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 159.324.880 \text{ N.mm}$$

Syarat :

$$Mn_{\text{perlu}} < Mn_{\text{pasang}}$$

$$36.659.875 \text{ N.mm} < 159.324.880 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan.

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **6D22**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D22**

- **DAERAH LAPANGAN**

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :

$$1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey$$

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{lapangan}} = 186.850.300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 233.562.875 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$= -466.853.913 \text{ N.mm} < 0$ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 2,01 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0052$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0052 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 1.129,75 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D_lentur}}} = 2,974 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$A_{s\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 1140 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$1.129,75 \text{ mm}^2 < 1140 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 22)}{8 - 1} \\ &= 117 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$117 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan
Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan
 $As' = 1/3 As \text{ Tarik} = 376,5821 \text{ mm}^2$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan D_{\text{lentur}}} = 0,991 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\ 376,5821 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s \text{ pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1140 \text{ mm}^2$$

$$A_{s' \text{ pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1140 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 380 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 3D22 = 1140 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 &= \left(\frac{1140 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right) \\
 &= 44,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1140 \times 400 \times \left(539 - \frac{44,7}{2} \right) \\
 &= 235.592.400 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n_{\text{perlu}}} < M_{n_{\text{pasang}}}$$

$$233.562.875 \text{ N.mm} < 235.592.400 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 3D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

Lebar Balok (b_{balok})	= 400 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 600 mm
Bentang Bersih Balok (l_n)	= 7550 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Geser (ϕ_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey dari analisa program SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 211.721,7 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

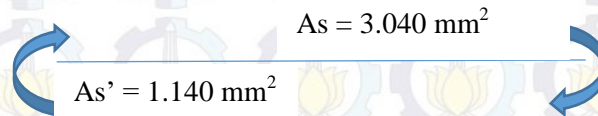
Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke ½ bentang balok.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = 44,7 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 23,56 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

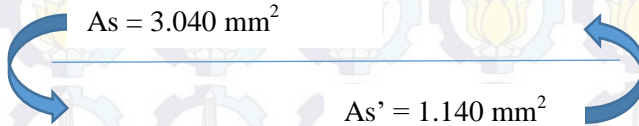
$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = 119,2 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 58,3 \text{ Tm}$$

- 2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



$$A_s = 3.040 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 1.140 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = 119,2 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 58,29 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

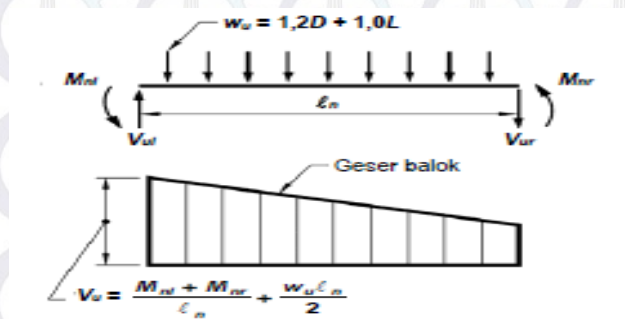
$$a = 44,7 \text{ mm}$$

$$M_r = A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 23,56 \text{ Tm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4*.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4. 25 Output Gaya Geser SAP 2000

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

$Vu1$: Gaya geser pada muka perletakan

Mnl : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

Ln : Panjang bersih balok

Karena hasil Mn untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $Vu_1 = Vu_2$.

$$l_n = L_{balok} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{kolom}\right)$$

$$= 7150 \text{ mm}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

$$Vu1 = 21,184 \text{ T}$$

$$= 210.220,3637 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17\sqrt{30} \times 400 \times 539 \\ &= 196.815 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= 0,33 \times b \times d &= 71.867 \text{ N} \\ V_s &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 393.630 \text{ N} \\ V_{s_{\max}} &= 0,67 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 787.260 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Periksa SyaratKondisi 1

$$\begin{aligned} V_u &\leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser} \\ 211.836,1637 \text{ N} &< 73.805,61462 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

Kondisi 2

$$\begin{aligned} 0,5 \times \emptyset \times V_c &\leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tulangan geser minimum} \\ 211.836,1637 \text{ N} &< 147.611,23 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

Kondisi 3

$$\begin{aligned} \emptyset \times V_c &\leq V_u \leq \emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow \text{tulangan geser minimum} \\ 211.836,1637 \text{ N} &< 201.511,23 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

Kondisi 4

$\emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset \times (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$
tulangan geser

211.836,1637 N < 738.056,15 N (**memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4

$$V_{s_{\text{perlu}}} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset} = 85.633,2 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times \pi \times D^2) \times n_{\text{kaki}} = 157 \text{ mm}^2$$

Mencari jarak tulangan geser (S_{pasang})

$$S = \left(\frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \right) = 237,169 \text{ mm} \sim 120 \text{ mm}$$

(dipilih jarak sebesar 120 mm dikarenakan mengikuti syarat kekuatan geser balok poin pertama, yakni kurang dari $d/4$)

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v_{\min}} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 66,67 \text{ mm}^2$$

Cek Kontrol A_v : $A_v > A_{v_{\min}}$
 $157 \text{ mm}^2 > 66,67 \text{ mm}^2$ (OK)

$$V_{s_{\text{pasang}}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 169.246 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\emptyset \times (V_c + V_s) > V_u$$

$$274.545,73 \text{ N} > 211.836,2 \text{ N (OK)}$$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke

arah tengah bentang. Senggang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi senggang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. $8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
- c. $24 \times D_{\text{tulangan senggang}}$
- d. 300 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$120 \text{ mm} < 134,75 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$120 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times D_{\text{tulangan senggang}}$$

$$120 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 300 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang $\emptyset 10$ -120 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)
Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times \left(\frac{1}{2}ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}ln} = 144.497,5157 \text{ N}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser

$144.497,5157 \text{ N} < 73.805,61462 \text{ N}$

(tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum

$144.497,5157 \text{ N} < 147.611,23 \text{ N}$ (**memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \emptyset 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v\min} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 83,333 \text{ mm}^2$$

Cek Kontrol A_v : $A_v > A_{v\min}$
 $157 \text{ mm}^2 > 83,333 \text{ mm}^2$ (OK)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 135.396,8 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$\emptyset \times (V_c + V_s) > V_u$
 $249.158,8292 \text{ N} > 144.497,5157 \text{ N}$ (OK)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser BerdasarkanKondisi 4

$S_{\max} \leq d/2$ atau $S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 269,5 \text{ mm}$ atau $150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$
(memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang \emptyset 10-150 mm

4.4.3.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**
Panjang penyaluran untuk batag ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.
(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana :

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

$$\lambda_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \right) d_b$$

$$= 945,09 \text{ mm} \approx 945,00 \text{ mm}$$

Syarat $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

945,00 mm > 300 mm (**memenuhi**)

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3*
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1*)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2*

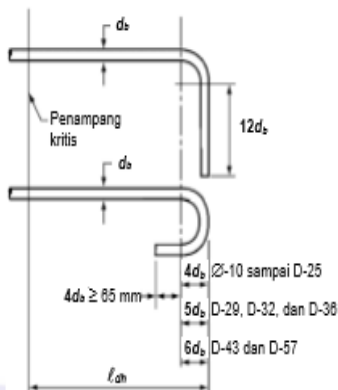
panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times d_b \quad \text{atau} \quad (0,043 f_y) d_b$$

$$= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 22 \quad \text{atau} \quad (0,043400) \cdot 22$$

$$= 385,6 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 378,4 \text{ mm}$$




Diambil 385,6 mm



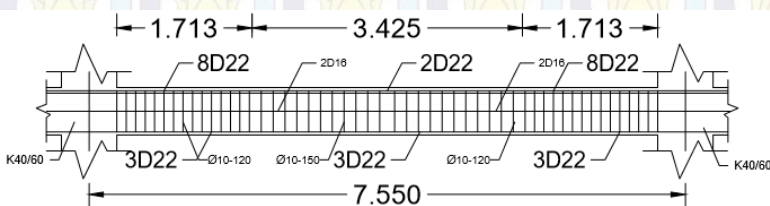
Gambar 4. 26 Detail panjang penyaluran

Panjang kait :

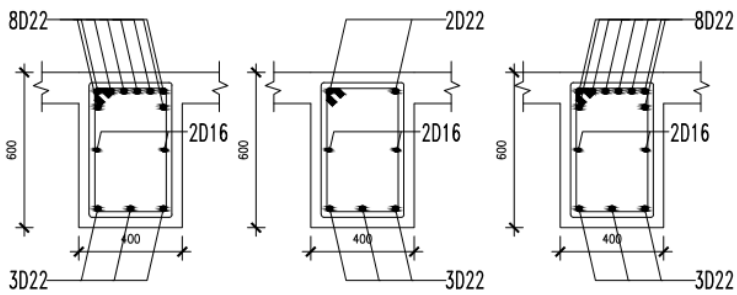
$$12 \times d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

TIPE BALOK	BA Lt.2		
	300 X 400		
POTONGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
			
TULANGAN ATAS	3 D22	2 D22	3 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	10 - 80	10 - 150	10 - 80
TULANGAN PUNTIR	-		
SELIMUT BETON	40 mm		

Gambar 4. 27 Penulangan Balok Induk



Gambar 4. 28 Detail Penulangan Balok Induk

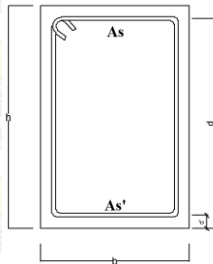


Gambar 4. 29 Potongan Detail Penulangan Balok Induk

$$\begin{aligned}\text{Faktor Reduksi Kekuatan Geser } (\phi) &= 0,75 \\ \text{Faktor Reduksi Kekuatan Puntir } (\phi) &= 0,75\end{aligned}$$

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{sejangkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 339 \text{ mm} \\ d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{sejangkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4. 31 Tinggi Efektif Balok

- b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa SAP 2000

Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr adalah kombinasi kritis dalam permodelan. *Frame* yang ditinjau yakni *frame* 95

Hasil Output Gaya Aksial



Gambar 4. 32 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000
Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

Gaya Aksial (Pu) = 1.328,6 kg

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 33 Output Momen Torsi SAP 2000

Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

Momen Torsi (Tu) = 13,49 kg.m

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 34 Output Momen Lentur SAP 2000

Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr



Gambar 4. 35 Output Momen Lentur SAP 2000

Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr



Gambar 4. 36 Output Momen Lentur SAP 2000

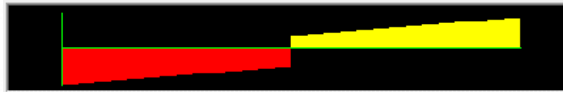
Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

Momen Tumpuan Kiri = 8.473,75 kg.m

Momen Lapangan = 6.812,54 kg.m

Momen Tumpuan Kanan = 5.591,44 kg.m

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Shear V2
-5892.11 Kgf
at 0.00000 m

Gambar 4. 37 Output Gaya Geser SAP 2000 Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

Gaya Geser Terfaktor $V_u = 5.892,11 \text{ kg}$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

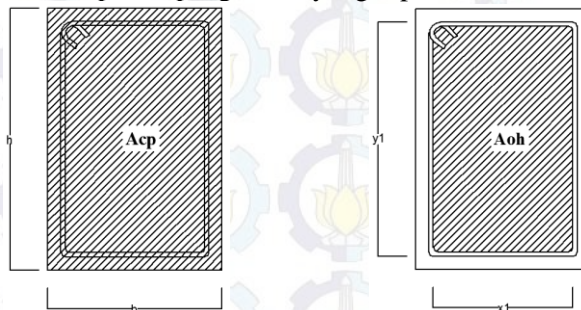
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c}{10} = \frac{300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2}{10} = 360.000 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr pada komponen struktur sebesar $13.286 \text{ N} < 360.000 \text{ N}$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 30/40



Gambar 4. 38 Luas Penampang Balok

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= (300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \times (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \\ &= 60.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) + ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}))] \\ &= 2 \times [(300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) + (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}))] \\ &= 1.000 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari program SAP 2000 diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

$$T_u = 13,49 \text{ kg.m} = 134.900 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = 8.431,25 \text{ N.mm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 3.506.989,29 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \max = \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ = 185.912.685,2 \text{ N.mm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u_{min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$

$3.506.989,29 \text{ N.mm} > 134.900 \text{ N.mm} \rightarrow$ **(maka dipasang tulangan punter minimum, sebesar 2 Ø16 dikarenakan dimensi $h > 30 \text{ cm}$)**

4.4.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = 203,4 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 152,6 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ = 975.375 \text{ N}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{f_y} = \frac{975.375 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ = 2.438 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) = 330.237.590,6 \text{ N.mm}$$

- DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

TUMPUAN KIRI

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{tumpuan}} = 84.737.500 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 105.921.875 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= -224.315.716 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 3,07 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0082$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0082 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 834,89 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentur}}}} = 2,197 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1140 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$834,89 \text{ mm}^2 < 1140 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 8D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 67 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$67 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s_{\text{tarik}}} = 278,297 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{lentur}}} = 0,732 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &< A_{\text{pasang}} \\ 278,297 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.140 \text{ mm}^2 \\ A_{s'\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1140 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 380 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 3D22} = 1.140 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D22} = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_{s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= \left(\frac{1.140 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \right) \\ &= 59,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1.140 \times 400 \times \left(339 - \frac{59,6}{2} \right) \\ &= 141.086.400 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n\text{perlu}} < M_{n\text{pasang}}$$

$$106.801.375 \text{ N.mm} < 141.086.400 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 3D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

TUMPUAN KANAN

Momen Lentur Nominal

$$M_{u\text{tumpuan}} = 55.914.400 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 69.893.000 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= -260.344.591 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)} \end{aligned}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 2,03 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0053$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0053 < 0,0163 \text{ (OK)}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 537,74 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan Dlentur}} = 1,415 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ 537,74 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 256 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s \text{ Tarik}} = 179,2 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} = 0,472 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$179,2 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 25,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 2D22} = 760 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D22} = 760 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= \left(\frac{760 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$= 29,81 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = \text{As} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 760 \times 400 \times \left(539 - \frac{29,81}{2} \right)$$

$$= 159.324.880 \text{ N.mm}$$

Syarat :

$$M_{n\text{perlu}} < M_{n\text{pasang}}$$

$$69.893.000 \text{ N.mm} < 159.324.880 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan. Jadi, penulangan lentur untuk balok induk adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **3D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

- DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{lapangan}} = 68.125.400 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 85.156.750 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -245.080.841 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 2,47 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right] = 0,0065$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0065 < 0,0163 \text{ (OK)}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 661,77 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} = 1,742 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &< A_{\text{pasang}} \\ 661,77 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 22)}{8 - 1} \\ &= 117 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 1/3 As \text{ Tarik} = 220,5914 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} = 0,586 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \end{aligned}$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &< A_{\text{Spasang}} \\ 220,5914 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Ogeser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{\text{Spasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\
 760 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2 \\
 760 \text{ mm}^2 &\geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 &= 39,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 760 \times 400 \times \left(339 - \frac{39,73}{2} \right) \\
 &= 97.017.040 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n\text{perlu}} < M_{n\text{pasang}}$$

$$85.156.750 \text{ N.mm} < 97.017.040 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

Lebar Balok (b_{balok})	= 300 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 mm
Bentang Bersih Balok (l_n)	= 7000 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm

$$\begin{aligned}\text{Faktor } \beta_1 &= 0,85 \\ \text{Faktor Reduksi Kekuatan Geser } (\phi) &= 0,75\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r dari analisa program SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 58.921,1 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

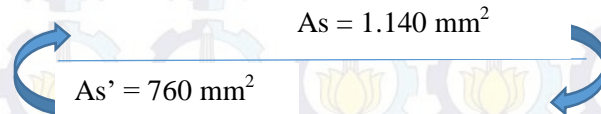
Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



$$A_s = 1.140 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 760 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= 39,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$M_{nl} = A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 9,7 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan


$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = 59,598 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 14,1 \text{ Tm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



$$A_s = 1.140 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 760 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = 39,73 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 9,7 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

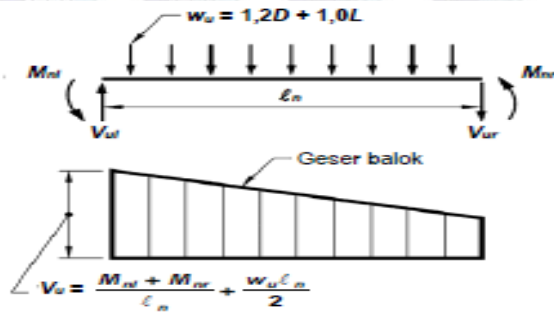
$$a = 39,7 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 9,7 \text{ Tm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4. 39 Output Gaya Geser SAP 2000

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$.

$$l_n = L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right)$$

$$= 6700 \text{ mm}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$V_{u1} = 5,896 \text{ T}$$

$$= 58.956,61861 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17\sqrt{30} \times 300 \times 339 \\ &= 92.839 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= 0,33 \times b \times d &= 33.900 \text{ N} \\ V_s &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 185.678 \text{ N} \\ V_{s_{\max}} &= 0,67 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 371.356 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Periksa Syarat

Kondisi 1

$$\begin{aligned} V_u &\leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser} \\ 58.956,61861 \text{ N} &< 34.814,61506 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

Kondisi 2

$$\begin{aligned} 0,5 \times \emptyset \times V_c &\leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tulangan geser minimum} \\ 58.956,61861 \text{ N} &< 69.629,23 \text{ N} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 169,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 80 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \emptyset 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v\min} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 33,333 \text{ mm}^2$$

Cek Kontrol A_v : $A_v > A_{v\min}$
 $157 \text{ mm}^2 > 33,333 \text{ mm}^2$ (OK)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 159.669 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \emptyset \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 189.380,9801 \text{ N} &> 58.956,61861 \text{ N} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
- $24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$80 \text{ mm} < 84,75 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$80 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$$

$$80 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 300 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-80 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)
Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} = 45.480,82007 \text{ N}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser (akan tetapi dipasang minimum)

$$45.480,82007 \text{ N} < 73.805,61462 \text{ N}$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi tersebut

$$S_{\text{max}} = \frac{d}{2} = 169,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v_{\min}} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kontrol } A_v: \quad A_v &> A_{v_{\min}} \\ 157 \text{ mm}^2 &> 62,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 135.396,8 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \varnothing \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 133.496,8301 \text{ N} &> 45.480,82007 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq d/2 && \text{atau } S_{\max} \leq 600 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} &< 169,5 \text{ mm} && \text{atau } 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \\ & \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø 10-150 mm

4.4.3.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 Pasal 12***

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2***

Panjang penyaluran untuk batag ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana :

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

$$\lambda_d = \left(\frac{f_y \times \Psi_t \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$= 945,09 \text{ mm} \approx 945,00 \text{ mm}$$

Syarat $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

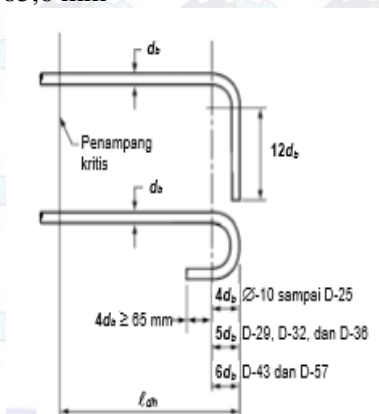
945,00 mm > 300 mm (**memenuhi**)

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm
(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2** panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times d_b && \text{atau} && (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 22 && \text{atau} && (0,043 \times 400) \cdot 22 \\ &= 385,6 \text{ mm} && \text{atau} && 378,4 \text{ mm}\end{aligned}$$




Diambil 385,6 mm



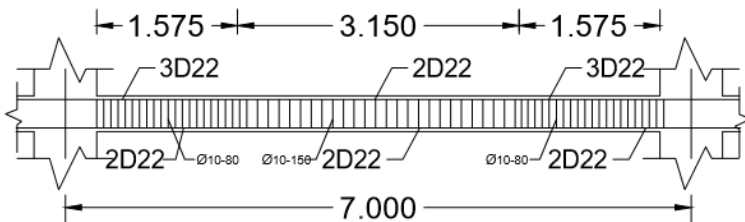
Gambar 4. 40 Detail panjang penyaluran

Panjang kait :

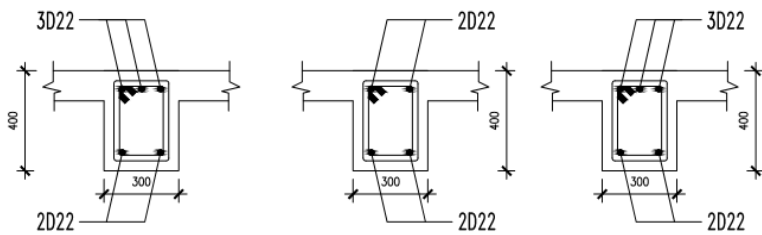
$$12 \times d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

TIPE BALOK	BA Lt.2		
	300 X 400		
POTONGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	10 - 80	10 - 80	10 - 80
TULANGAN PUNTIR	-		
SELIMUT BETON	40 mm		

Gambar 4. 41 Penulangan Balok Anak



Gambar 4. 42 Detail Penulangan Balok Anak

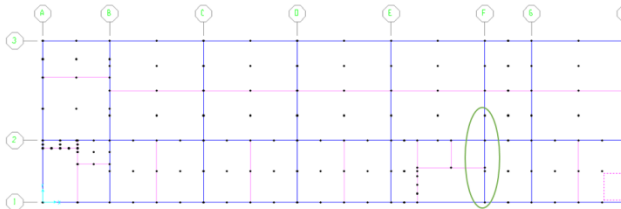


Gambar 4. 43 Potongan Detail Penulangan Balok Anak

4.4.3 Perhitungan Sloof Induk

a. Data Perencanaan

Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok sebagai berikut :



Gambar 4. 44 Denah Sloof Induk yang Ditinjau

Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

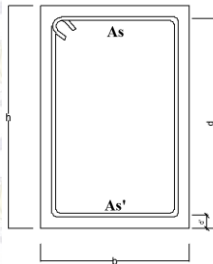
Bentang Balok (L)	= 4700 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 400 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 600 mm
Bentang Kolom (L_{kolom})	= 4000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Kuat Leleh Tulangan Puntir (f_{yt})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (D_{lentur})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Diameter Tulangan Puntir ($\emptyset_{\text{puntir}}$)	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (S_{sejajar})	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{\text{antar lapis}}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,8

Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ) = 0,75
 Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ) = 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 539 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 45 Tinggi Efektif Balok

- b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa SAP 2000

Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey adalah kombinasi kritis dalam permodelan. *Frame* yang ditinjau yakni *frame* 385

Hasil Output Gaya Aksial



Gambar 4. 46 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000
 Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Gaya Aksial (Pu)

= 2.892,69 kg

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 47 Output Momen Torsi SAP 2000

Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Momen Torsi (Tu)

= 1.825,75 kg.m

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 48 Output Momen Lentur SAP 2000

Tumpuan Kiri Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Ey



Gambar 4. 49 Output Momen Lentur SAP 2000

Lapangan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey



Gambar 4. 50 Output Momen Lentur SAP 2000

Tumpuan Kanan Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Momen Tumpuan Kiri

= 27.464,98 kg.m

Momen Lapangan

= 4.389,83 kg.m

Momen Tumpuan Kanan

= 21.385,57 kg.m

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 51 Output Gaya Geser SAP 2000 Kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey
Gaya Geser Terfaktor $V_u = 15.514,36 \text{ kg}$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

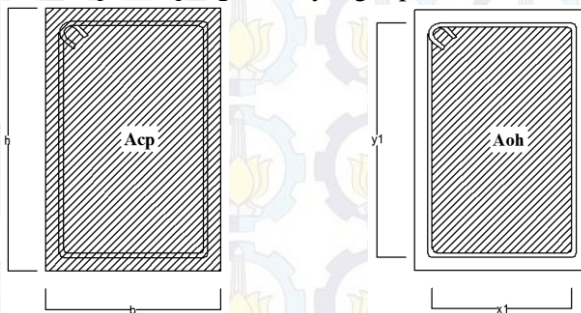
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{10} = 720.000 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey pada komponen struktur sebesar $28.926,9 \text{ N} < 720.000 \text{ N}$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 40/60



Gambar 4. 52 Luas Penampang Balok

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 240.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ &= 2.000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \times (600 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \\ &= 150.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) + ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}))] \\ &= 2 \times [(400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) + (600 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}))] \\ &= 1.600 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.1 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari program SAP 2000 diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

$$T_u = 1.825,75 \text{ kg.m} = 18.257.500 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = 1.141.094 \text{ N.mm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$T_{u \text{ min}} = \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(240.000 \text{ mm}^2)}{2.000 \text{ mm}} \right)$$

$$= 9.819.570,011 \text{ N.mm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left(\frac{(240.000 \text{ mm}^2)}{2.000 \text{ mm}} \right)$$

$$= 83.888.829,8 \text{ N.mm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u_{\min}} > T_u$ → tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$ → memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$

$9.819.570,011 \text{ N.mm} < 18.257.500 \text{ N.mm}$ → **(maka memerlukan tulangan puntir)**

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \times d} + 0,66 \sqrt{f_c'} \right)$$

$0,764 < 3,396$ **(memenuhi)**

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang $\phi = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 \times A_{oh}$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi} = 0,0302 \text{ mm}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

$$= 11,051 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan :

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

$$= 1.351,3 \text{ mm}^2$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,0302 \geq 0,292 \rightarrow (\text{memenuhi})$$

Maka diambil nilai $A_t/s = 0,292$

Kontrol :

$A_{\text{perlu}} \geq A_{\text{min}}$ maka gunakan A_{perlu}

$A_{\text{perlu}} \leq A_{\text{min}}$ maka gunakan A_{min}

$A_{\text{perlu}} \leq A_{\text{min}}$

$$11,051 \text{ mm}^2 < 1.351,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{maka gunakan } A_{\text{min}})$$

Maka diperlukan tulangan puntir sebesar 1.351 mm^2

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1.351,3 \text{ mm}^2}{4} = 337,82 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal

Direncanakan tulangan diameter 16 mm

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}} \\ = 1,681 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Maka dipasang tulangan puntir 2Ø16

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal

$$A_s = n \times \text{Luasan } \emptyset \text{ puntir} = 401,92 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$401,92 \text{ mm}^2 \geq 337,82 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan dan lapangan sebesar 2 Ø 16

4.4.3.2 Perhitungan Penulangan Lentur

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = 323,4 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 242,6 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 400 \text{ mm} \times 0,85 \times 150 \text{ mm} \\ &= 1.300.500 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (A_{sc})

$$Asc = \frac{Cc'}{f_y} = \frac{1.300.500 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} = 3.251 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$Mnc = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2}\right) = 700.416.787,5 \text{ N.mm}$$

- DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

TUMPUAN KIRI

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 274.649.800 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 343.312.250 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -357.104.538 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 2,95 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0079$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0079 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 1.697,14 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentukur}}}} = 4,467 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentukur}} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1.900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$1.697,14 \text{ mm}^2 < 1.900 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 8D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$48 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 1/3 As \text{ Tarik} = 565,7122 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan \text{ } \phi \text{ lentur}} = 1,489 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &< As_{\text{pasang}} \\ 565,7122 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi_b)}{n - 1} \\ &= \text{mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$117 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua

muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) \geq 1/3 Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1900 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 633,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik } 5D22 = 1900 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{\text{As pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= 74,51 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1900 \times 400 \times \left(539 - \frac{74,51}{2} \right) \\ &= 381.326.200 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n\text{perlu}} < M_{n\text{pasang}}$$

$$343.312.250 \text{ N.mm} < 381.326.200 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 5D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

TUMPUAN KANAN

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 213.855.700 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 267.319.625 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -433.097.163 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 2,3 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] = 0,006$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,006 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 1.301,51 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} = 3,43 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 1520 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\ 1.301,51 \text{ mm}^2 &< 1520 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 71 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{syarat agregat}} \\ 256 \text{ mm} &< 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_s' = \frac{1}{3} A_s \text{ Tarik} = 433,8 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} = 1,142 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$A_{s\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}}$$

$$433,8 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{\text{lentur}}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1520 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_s'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 1520 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 506,56 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 4D22} = 1520 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D22} = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{\text{As pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 &= 59,61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 154.795.280 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n_{\text{perlu}}} < M_{n_{\text{pasang}}}$$

$$267.319.625 \text{ N.mm} < 309.590.560 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 4D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan.

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk adalah:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **5D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

- DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
 $1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey$

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{lapangan} = 43.898.300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 54.872.875 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -645.543.913 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 0,47 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right] = 0,0012$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0012 < 0,0163 \text{ (OK)}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 256,91 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D lentur}}} = 0,676 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\ 256,91 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (2 \cdot 22)}{2 - 1} \\ &= 256 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{syarat agregat}} \\ 256 \text{ mm} &< 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s\text{ Tarik}} = 85,638 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D lentur}}} = 0,225 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\
 85,638 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\
 &= 256 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 760 \text{ mm}^2 \\
 A_s'_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lentur tumpuan (+)}} &\geq 1/3 M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\
 760 \text{ mm}^2 &\geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2 \\
 760 \text{ mm}^2 &\geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\
 &= \left(\frac{760 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} \right) \\
 &= 29,81 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 760 \times 400 \times \left(539 - \frac{29,81}{2} \right) \\
 &= 159.324.880 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{perlu}}} &< M_{n_{\text{pasang}}} \\
 54.872.875 \text{ N.mm} &< 159.324.880 \text{ N.mm} \\
 \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Balok (} b_{\text{balok}} \text{)} &= 400 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi Balok (} h_{\text{balok}} \text{)} &= 600 \text{ mm} \\
 \text{Bentang Bersih Balok (} l_n \text{)} &= 4700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey dari analisa program SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 155.143,6 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.

$$A_s = 1.900 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 760 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = 29,7992 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 15,93014 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

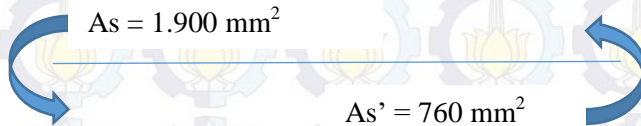
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = 74,498 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 38,1 \text{ Tm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



$$A_s = 1.900 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 760 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$a = 74,498 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 38,13 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

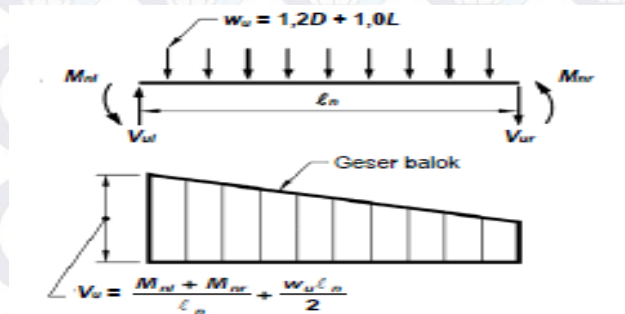
$$a = 29,8 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 15,93 \text{ Tm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4. 53 Output Gaya Geser SAP 2000

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{\ell_n} + \frac{Wu \times \ell_n}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{\ell_n} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

$Vu1$: Gaya geser pada muka perletakan

Mnl : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

Mnr : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $Vu_1 = Vu_2$.

$$\begin{aligned} \ell_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right) \\ &= 4300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

$$Vu1 = 15,52693 \text{ T}$$

$$= 155.269,3144 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$V_c = 0,17\sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17\sqrt{30} \times 400 \times 539$$

$$= 196.815 \text{ N}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{\min}} = 0,33 \times b \times d = 71.867 \text{ N}$$

$$V_s = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 393.630 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = 0,67 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 787.260 \text{ N}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Periksa Syarat

Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$155.269,3144 \text{ N} < 73.805,61462 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq Vu \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tulangan geser minimum}$$

$$155.269,3144 \text{ N} < 147.611,23 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow$ tulangan geser minimum

155.269,3144 N < 201.511,23 N (**tidak memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 3

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \emptyset 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v_{\min}} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 66,667 \text{ mm}^2$$

Cek Kontrol A_v : $A_v > A_{v_{\min}}$
 $157 \text{ mm}^2 > 66,667 \text{ mm}^2$ (OK)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 169.246 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$\emptyset \times (V_c + V_s) > V_u$
 $274.545,7292 \text{ N} > 155.269,3144 \text{ N}$ (OK)

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang

pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
- $24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$S_{\text{pakai}} \leq d/4$$

$$120 \text{ mm} < 134,75 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$120 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$$

$$120 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 300 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-120 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)
Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}ln - 2h)}{\frac{1}{2}ln} = 75.982,85598 \text{ N}$$

Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$75.982,85598 \text{ N} < 73.805,61462 \text{ N}$$

(tidak memenuhi)

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum

$75.982,85598 \text{ N} < 147.611,23 \text{ N}$ (**memenuhi**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 269,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \emptyset 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v_{\min}} = \left(\frac{b w \times s}{3 \times f_y} \right) = 83,333 \text{ mm}^2$$

Cek Kontrol A_v : $A_v > A_{v_{\min}}$
 $157 \text{ mm}^2 > 83,333 \text{ mm}^2$ (OK)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 135.396,8 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$\emptyset \times (V_c + V_s) > V_u$
 $249.158,8292 \text{ N} > 75.982,85598 \text{ N}$ (OK)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser BerdasarkanKondisi 4

$S_{\max} \leq d/2$ atau $S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 269,5 \text{ mm}$ atau $150 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$
(memenuhi)

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang \emptyset 10-150 mm

4.4.3.4 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**
Panjang penyaluran untuk batag ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.
(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana :

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

$$\lambda_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \right) d_b$$

$$= 945,09 \text{ mm} \approx 945,00 \text{ mm}$$

Syarat $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

945,00 mm > 300 mm (**memenuhi**)

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3*
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1*)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2*

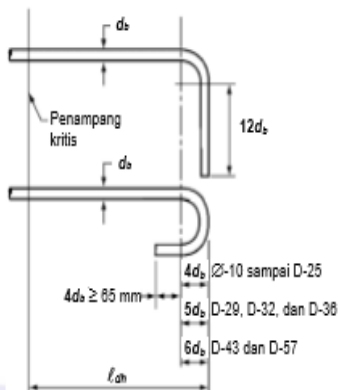
panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{cr}}} \times d_b \quad \text{atau} \quad (0,043 f_y) d_b$$

$$= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 22 \quad \text{atau} \quad (0,043400) \cdot 22$$

$$= 385,6 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 378,4 \text{ mm}$$



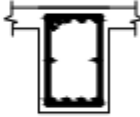
Diambil 385,6 mm



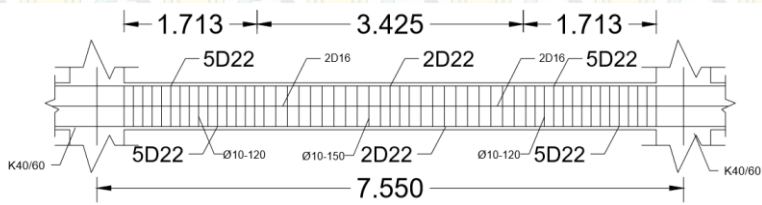
Gambar 4. 54 Detail panjang penyaluran

Panjang kait :

$$12 \times d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

TIPE SLOOF	S1		
	400 X 600		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	4 D22	2 D22	4 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	10 - 120	10 - 150	10 - 120
TULANGAN PUNTIR	2 D16		
SELIMUT BETON	40 mm		

Gambar 4. 55 Penulangan Sloof Induk

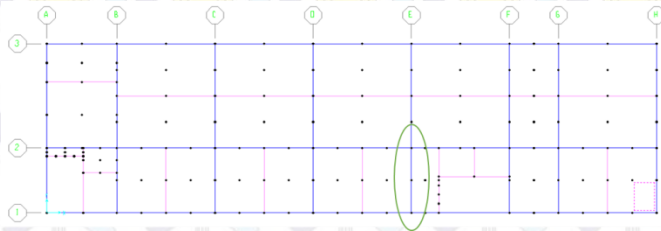


Gambar 4. 56 Detail Penulangan Sloof Induk

4.4.4 Perhitungan Sloof Anak

a. Data Perencanaan

Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok sebagai berikut :



Gambar 4. 57 Denah Sloof Anak yang Ditinjau

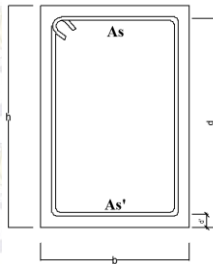
Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

Bentang Balok (L)	= 7000 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 300 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 mm
Bentang Kolom (L_{kolom})	= 4000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Kuat Leleh Tulangan Puntir (f_{yt})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (D_{lentur})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Diameter Tulangan Puntir ($\emptyset_{\text{puntir}}$)	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (S_{sejajar})	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{\text{antar lapis}}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85

Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ) = 0,8
 Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ) = 0,75
 Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ) = 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 339 \text{ mm} \\ d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 58 Tinggi Efektif Balok

- b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa SAP 2000

Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,4 D adalah kombinasi kritis dalam permodelan. *Frame* yang ditinjau yakni *frame* 370

Hasil Output Gaya Aksial



Gambar 4. 59 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000

Kombinasi 1,4 D
Gaya Aksial (Pu)

= 1.379,15 kg

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 60 Output Momen Torsi SAP 2000
Kombinasi 1,4 D
Momen Torsi (Tu)

= 4,42 kg.m

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 61 Output Momen Lentur SAP 2000
Tumpuan Kiri Kombinasi 1,4 D



Gambar 4. 62 Output Momen Lentur SAP 2000
Lapangan Kombinasi 1,4 D



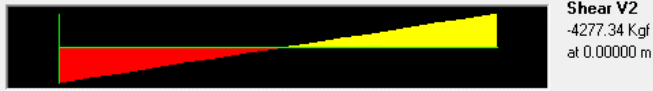
Gambar 4. 63 Output Momen Lentur SAP 2000
Tumpuan Kanan Kombinasi 1,4 D

Momen Tumpuan Kiri = 4.318,98 kg.m

Momen Lapangan = 3.174,3 kg.m

Momen Tumpuan Kanan = 4.287,22 kg.m

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 64 Output Gaya Geser SAP 2000 Kombinasi 1,4 D

Gaya Geser Terfaktor $V_u = 4.277,34 \text{ kg}$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

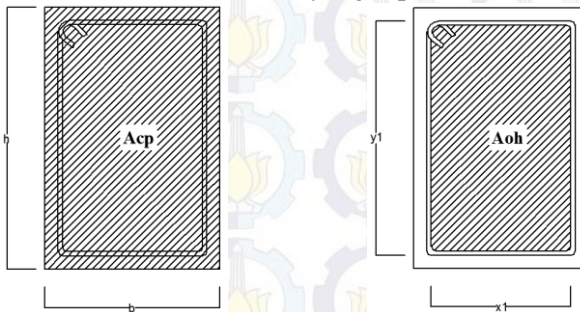
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2}{10} = 360.000 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4 D pada komponen struktur sebesar $13.791,5 \text{ N} < 360.000 \text{ N}$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 30/40



Gambar 4. 65 Luas Penampang Balok

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkan

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= (300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \times (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \\ &= 60.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Sengkan

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) + ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}))] \\ &= 2 \times [(300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) + (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}))] \\ &= 1.000 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.5 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari program SAP 2000 diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,4 D

$$T_u = 4,42 \text{ kg.m} = 44.200 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = 2.762,5 \text{ N.mm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 3.506.989,29 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \text{ max} = \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ = 185.912.685,2 \text{ N.mm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u_{min}} > T_u$ → tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$ → memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$

$3.506.989,29 \text{ N.mm} < 44.200 \text{ N.mm} \rightarrow$ (maka dipasang tulangan puntir minimum, sebesar 2 Ø16 dikarenakan dimensi $h > 30 \text{ cm}$)

4.4.3.6 Perhitungan Penulangan Lentur

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = 203,4 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b = 152,6 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ = 975.375 \text{ N}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$Asc = \frac{C_c'}{f_y} = \frac{975.375 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} \\ = 2.438 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) = 330.237.590,6 \text{ N.mm}$$

- DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,4 D:

TUMPUAN KIRI

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 43.189.800 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 53.987.250 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= -276.250.341 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 1,57 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0040$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0040 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 411,17 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentuk}}}} = 1,082 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentuk}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$411,17 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 8D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 18 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\max} < 30 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 1/3 As \text{ Tarik} = 137,0581 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan \text{ } \phi \text{ lentur}} = \frac{941,9309}{0,25 \times \pi \times 22^2} \\ = 0,361 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$As_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ = 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ = 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}} \\ 137,0581 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ = 156 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua

muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) \geq 1/3 Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= 39,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 97.017.040 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n_{\text{perlu}}} < M_{n_{\text{pasang}}}$$

$$85.156.750 \text{ N.mm} < 97.017.040 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

TUMPUAN KANAN

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} Mu_{tumpuan} &= 42.872.200 \text{ N.mm} \\ Mn &= Mu / \phi = 53.590.250 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= -276.647.341 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan} \\ &\text{tulangan lentur tekan minimum)} \end{aligned}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = 15,686$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 1,55 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] = 0,004$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \rho_{min} &< \rho_{perlu} < \rho_{max} \\ 0,0035 &< 0,004 < 0,0163 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 408,05 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} = 1,074 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{\text{perlu}} < A_{\text{pasang}} \\ 408,05 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} &&= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} &&= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Ogeser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{syarat agregat}} \\ 156 \text{ mm} &< 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_s' = 1/3 A_s \text{ Tarik} = 136 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} = 0,358 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \end{aligned}$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s\text{perlu}} < A_{s\text{pasang}} \\ 136 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ = 156 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ = 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 25,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

As pakai tulangan tarik 2D22 = 760 mm²

As pakai tulangan tekan 2D22 = 760 mm²

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= 39,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 760 \times 400 \times \left(339 - \frac{39,73}{2} \right) \\ &= 97.017.040 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n\text{perlu}} < M_{n\text{pasang}}$$

$$53.590.250 \text{ N.mm} < 97.017.040 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan.

Jadi, penulangan lentur untuk balok induk adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **3D22**

- DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,4 D:

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{lapangan}} = 31.743.000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 39.678.750 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -290.558.841 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 1,15 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right] = 0,0029$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0029 < 0,0163 \text{ (OK)}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 299,54 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D lentur}}} = 0,79 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\ 299,54 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s\text{ Tarik}} = 99,845 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D lentur}}} = 0,263 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ 99,845 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s'_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= 39,73 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 97.017.040 \text{ N.mm}$$

Syarat :

$$M_{n\text{perlu}} < M_{n\text{pasang}}$$

$$39.678.750 \text{ N.mm} < 97.017.040 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

4.4.3.7 Perhitungan Penulangan Geser

Lebar Balok (b_{balok})	= 300 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 400 mm
Bentang Bersih Balok (l_n)	= 7000 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm

$$\begin{aligned}\text{Faktor } \beta_1 &= 0,85 \\ \text{Faktor Reduksi Kekuatan Geser } (\phi) &= 0,75\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,4 D dari analisa program SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 42.773,4 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

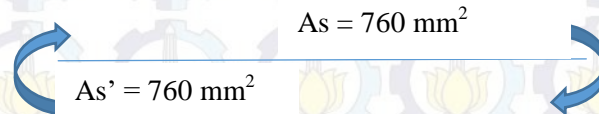
Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



$$As = 760 \text{ mm}^2$$

$$As' = 760 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tumpuan kiri

$$\begin{aligned}a &= \frac{As' \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \\ a &= 39,73 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{nl} &= As' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ M_{nl} &= 9,7 \text{ Tm}\end{aligned}$$

Momen nominal tumpuan kanan

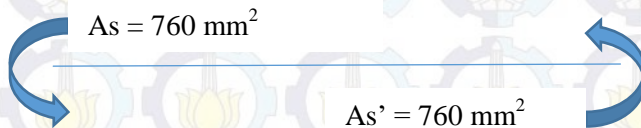
$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = 39,732 \text{ mm}$$

$$Mnr = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 9,7 \text{ Tm}$$

- 2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.

Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

$$a = 39,732 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 9,7 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f'c' b}$$

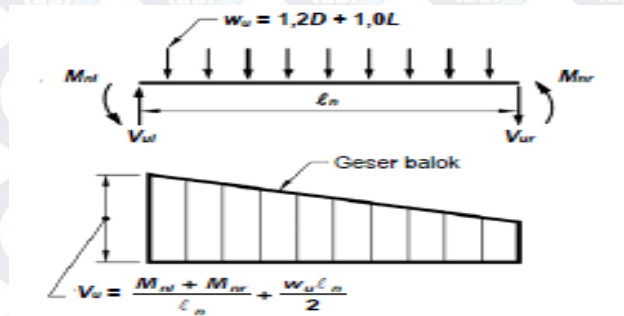
$$a = 39,73 \text{ mm}$$

$$Mnr = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 9,7 \text{ Tm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4. 66 Output Gaya Geser SAP 2000

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + \frac{w_u \times \ell_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

ℓ_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$.

$$\begin{aligned} \ell_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right) \\ &= 6700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{\ell_n} + V_u$$

$$V_{u1} = 21,184 \text{ T}$$

$$= 42.802,356 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17\sqrt{30} \times 300 \times 339 \\ &= 92.839 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{s_{\min}} &= 0,33 \times b \times d &= 33.900 \text{ N} \\ V_s &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 185.678 \text{ N} \\ V_{s_{\max}} &= 0,67 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d &= 371.356 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Periksa Syarat

Kondisi 1

$$\begin{aligned} V_u &\leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser} \\ 42.802,356 \text{ N} &< 34.814,61506 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

Kondisi 2

$$\begin{aligned} 0,5 \times \emptyset \times V_c &\leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{tulangan geser minimum} \\ 42.802,356 \text{ N} &< 69.629,23 \text{ N} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 169,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 80 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \varnothing 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v\min} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 33,333 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kontrol } A_v: \quad A_v &> A_{v\min} \\ 157 \text{ mm}^2 &> 33,333 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 159.669 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \varnothing \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 189.380,9801 \text{ N} &> 42.802,356 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
- $24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$80 \text{ mm} < 84,75 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$80 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$$

$$80 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 300 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-80 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}ln - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}ln}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times \left(\frac{1}{2}ln - 2h\right)}{\frac{1}{2}ln} = 33.018,96 \text{ N}$$

Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$33.018,96 \text{ N} < 34.814,61506 \text{ N} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc \rightarrow \text{tulangan geser minimum}$$

$$33.018,96 \text{ N} < 69.629,23 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\text{max}} = \frac{d}{2} = 169,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \varnothing 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v_{\min}} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kontrol } A_v: \quad A_v &> A_{v_{\min}} \\ 157 \text{ mm}^2 &> 62,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 85.156,8 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \varnothing \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 133.496,8301 \text{ N} &> 33.018,96 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq d/2 && \text{atau } S_{\max} \leq 600 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} &< 269,5 \text{ mm} && \text{atau } 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang \varnothing 10-150 mm

4.4.3.8 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batag ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1*)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2* sebagai berikut :

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana :

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

$$\lambda_d = \left(\frac{f_y \times \Psi_t \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$= 945,09 \text{ mm} \approx 945,00 \text{ mm}$$

Syarat $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

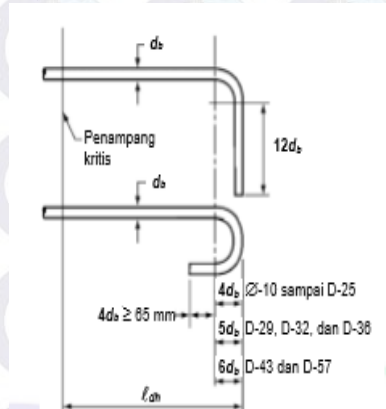
945,00 mm > 300 mm (**memenuhi**)

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3*
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm
(*SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1*)

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2* panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times d_b & \text{atau} & \quad (0,043f_y)d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 22 & \text{atau} & \quad (0,043400) \cdot 22 \\ &= 385,6 \text{ mm} & \text{atau} & \quad 378,4 \text{ mm}\end{aligned}$$




Diambil 385,6 mm



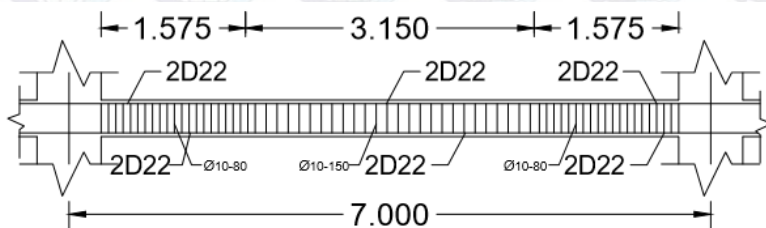
Gambar 4. 67 Detail panjang penyaluran

Panjang kait :

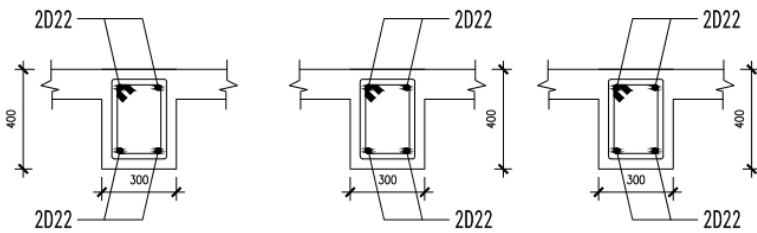
$$12 \times d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

TIPE SLOOF	S2		
	300 X 400		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	10 - 80	10 - 150	10 - 80
TULANGAN PUNTIR	-		
SELIMUT BETON	40 mm		

Gambar 4. 68 Penulangan Sloof Anak



Gambar 4. 69 Detail Penulangan Sloof Anak

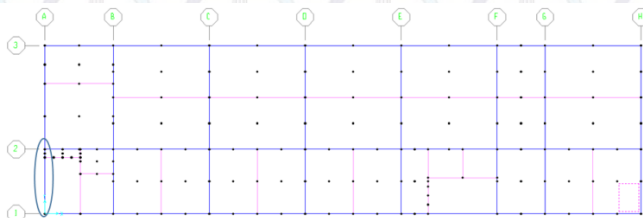


Gambar 4. 70 Potongan Detail Penulangan Sloof Anak

4.4.5 Perhitungan Balok Bordes

a. Data Perencanaan

Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok sebagai berikut :



Gambar 4. 71 Denah Balok Bordes yang Ditinjau

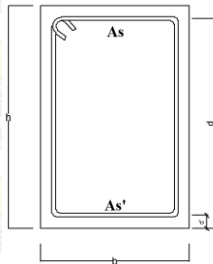
Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

Bentang Balok (L)	= 7550 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 400 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 500 mm
Bentang Kolom (L_{kolom})	= 4000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Kuat Leleh Tulangan Puntir (f_{yt})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (D_{lentur})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Diameter Tulangan Puntir ($\emptyset_{\text{puntir}}$)	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (S_{sejajar})	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{\text{antar lapis}}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,8

$$\begin{aligned}\text{Faktor Reduksi Kekuatan Geser } (\phi) &= 0,75 \\ \text{Faktor Reduksi Kekuatan Puntir } (\phi) &= 0,75\end{aligned}$$

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 439 \text{ mm} \\ d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4. 72 Tinggi Efektif Balok

- b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa SAP 2000

Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,4 D adalah kombinasi kritis dalam permodelan. *Frame* yang ditinjau yakni *frame* 602

Hasil Output Gaya Aksial



Gambar 4. 73 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000 Kombinasi 1,4 D

Gaya Aksial (Pu) = 4.759,64 kg

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 74 Output Momen Torsi SAP 2000

Kombinasi 1,4 D

Momen Torsi (Tu) = 353,8 kg.m

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 75 Output Momen Lentur SAP 2000

Tumpuan Kiri Kombinasi 1,4 D



Gambar 4. 76 Output Momen Lentur SAP 2000

Lapangan Kombinasi 1,4 D



Gambar 4. 77 Output Momen Lentur SAP 2000

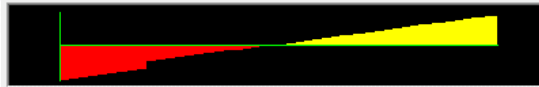
Tumpuan Kanan Kombinasi 1,4 D

Momen Tumpuan Kiri = 5.562,37 kg.m

Momen Lapangan = 2.892,15 kg.m

Momen Tumpuan Kanan = 5.970,09 kg.m

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Shear V2
-4987.17 Kgf
at 0.00000 m

Gambar 4. 78 Output Gaya Geser SAP 2000 Kombinasi 1,4 D

Gaya Geser Terfaktor $V_u = 4.987,17 \text{ kg}$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

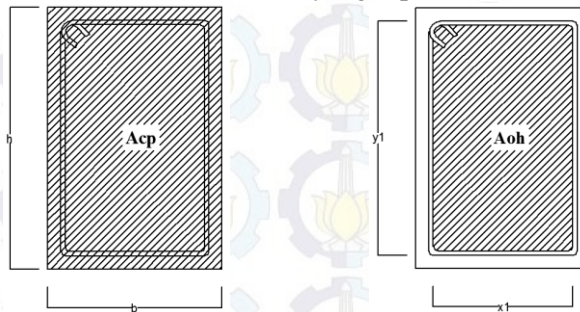
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2}{10} = 600.000 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4 D pada komponen struktur sebesar $47.596,4 \text{ N} < 360.000 \text{ N}$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 40/50



Gambar 4. 79 Luas Penampang Balok

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 200.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1.800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= (400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \times (500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \\ &= 120.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) + ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}))] \\ &= 2 \times [(400 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) + (500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}))] \\ &= 1.400 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.9 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari program SAP 2000 diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,4 D

$$T_u = 353,8 \text{ kg.m} = 3.538.000 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = 221.125 \text{ N.mm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 7.576.828,712 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$T_u \max = \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ = 642.661.134,1 \text{ N.mm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u_{\min}} > T_u$ → tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$ → memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$

$3.538.000 \text{ N.mm} < 7.576.828,712 \text{ N.mm} \rightarrow$ **(maka dipasang tulangan punter minimum, sebesar 2 Ø16 dikarenakan dimensi $h > 30 \text{ cm}$)**

4.4.3.10 Perhitungan Penulangan Lentur

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = 263,4 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 197,6 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ = 1.300.500 \text{ N}$$

Luas Tulangan Tarik (A_{sc})

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{f_y} = \frac{975.375 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 3.251 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2} \right) = 570.366.787,5 \text{ N.mm}$$

- DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,4 D:

TUMPUAN KIRI

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 55.623.700 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 69.529.625 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= -500.837.163 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 0,90 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0023$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0,0035 < 0,0023 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 403,22 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentur}}}} = 1,061 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ 403,22 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 8D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\text{max}} < 30 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan
Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan
 $As' = 1/3 As \text{ Tarik} = 134,4054 \text{ mm}^2$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan \emptyset \text{ lentur}} = \frac{941,9309}{0,25 \times \pi \times 22^2}$$

$$= 0,354 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$As_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}}$$

$$134,4054 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif

maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= 29,804 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 9.669.435,294 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n_{\text{perlu}}} < M_{n_{\text{pasang}}}$$

$$69.529.625 \text{ N.mm} < 96.694.352,94 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis

Lapis 1 = 2D22

TUMPUAN KANAN

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 59.700.900 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 74.626.125 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -495.740.663 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f'c \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 0,97 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] = 0,0025$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0025 < 0,0163 \text{ (OK)}$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 433,37 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentu}}}} = 1,141 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentu}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ v \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 256 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s \text{ Tarik}} = 144,5 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentu}}}} = 0,38 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ 144,5 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 256 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s'_{\text{pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 25,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$= 39,73 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 760 \times 400 \times \left(339 - \frac{39,73}{2} \right)$$

$$= 97.017.040 \text{ N.mm}$$

Syarat :

$$M_{n_{\text{perlu}}} < M_{n_{\text{pasang}}}$$

$$53.590.250 \text{ N.mm} < 97.017.040 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah tumpuan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan. Jadi, penulangan lentur untuk balok induk adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

- DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,4 D:

Momen Lentur Nominal

$$Mu_{\text{lapangan}} = 36.151.875 \text{ N.mm}$$

$$Mn = Mu / \phi = 36.151.875 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -534.214.913 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times fc' \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 0,47 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] = 0,0012$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0012 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 207,81 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{D lentur}}}} = 0,55 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$207,81 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s \text{ Tarik}} = 69,27 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{tulangan D lentur}}} = 0,182 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D}_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &< A_{\text{pasang}} \\ 69,27 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung

komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D22 = 760 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{A_s \text{ pakai tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right) \\ &= 39,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 97.017.040 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_{n_{\text{perlu}}} < M_{n_{\text{pasang}}}$$

$$36.151.875 \text{ N.mm} < 97.017.040 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

4.4.3.11 Perhitungan Penulangan Geser

Lebar Balok (b_{balok})	= 400 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 500 mm
Bentang Bersih Balok (l_n)	= 7550 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Geser (ϕ_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,4 D dari analisa program SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 49.907,76 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

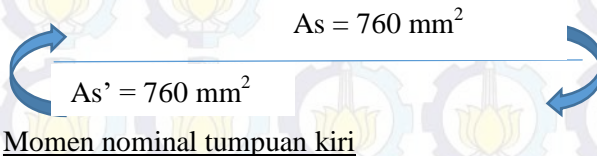
Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f c' b}$$

$$a = 29,8 \text{ mm}$$

$$Mnl = As' \times fy \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mnl = 12,89 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

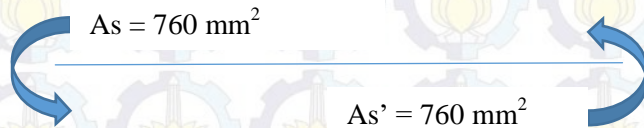
$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f c' b}$$

$$a = 29,799 \text{ mm}$$

$$Mnr = As \times fy \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mnr = 12,9 \text{ Tm}$$

2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 f c' b}$$

$$a = 29,799 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times fy \times (d - \frac{a}{2})$$

$$Mnl = 12,89 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0,85 f c' b}$$

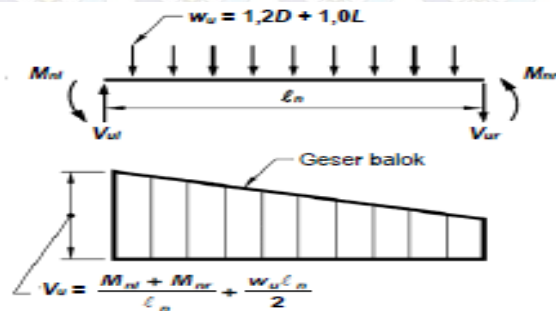
$$a = 29,8 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = A_s' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 12,89 \text{ Tm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan *SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4*.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4. 80 Output Gaya Geser SAP 2000

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a)*)

Keterangan :

V_{u1} : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $V_{u1} = V_{u2}$.

$$\begin{aligned} I_n &= L_{\text{balok}} - 2 \left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}} \right) \\ &= 7.150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\ V_{u1} &= 21.184 \text{ T} \\ &= 49.907,76 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 160.300 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{\min}} = 0,33 \times b \times d = 58.533 \text{ N}$$

$$V_s = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 320.600 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = 0,67 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 641.201 \text{ N}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Periksa Syarat

Kondisi 1

$$\begin{aligned} V_u &\leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser} \\ 49.907,76 \text{ N} &< 60.112,551 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum

$$49.907,76 \text{ N} < 120.225,1 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 219,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 100 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser \emptyset 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v\min} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 55,556 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kontrol } A_v: \quad A_v &> A_{v\min} \\ 157 \text{ mm}^2 &> 55,556 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 165.415,2 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \emptyset \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 244.286,5014 \text{ N} &> 49.907,758 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang

pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
- $24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

100 mm < 84,75 mm **(memenuhi)**

$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
100 mm < 176 mm **(memenuhi)**

$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$
100 mm < 240 mm **(memenuhi)**

$S_{\text{pakai}} \leq 300$ mm
100 mm < 300 mm **(memenuhi)**

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-100 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu_2}{\frac{1}{2}l_n - 2h} = \frac{Vu_1}{\frac{1}{2}l_n}$$

$$Vu_2 = \frac{Vu_1 \times (\frac{1}{2}l_n - 2h)}{\frac{1}{2}l_n} = 36.687,16 \text{ N}$$

Kondisi 1

$Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser
 $36.687,16 \text{ N} < 60.112,551 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**

Kondisi 2

$0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc \rightarrow$ tulangan geser minimum

$$36.687,16 \text{ N} < 120.225,1 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 219,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v\min} = \left(\frac{b w x s}{3 x f_y} \right) = 83,33 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kontrol } A_v: \quad A_v &> A_{v\min} \\ 157 \text{ mm}^2 &> 83,33 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 110.276,8 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \emptyset \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 202.932,7014 \text{ N} &> 36.687,16 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq d/2 && \text{atau } S_{\max} \leq 600 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} &< 269,5 \text{ mm} && \text{atau } 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø 10-150 mm

4.4.3.12 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.
(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana :

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1 (beton normal)

$$\lambda_d = \left(\frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$= 945,09 \text{ mm} \approx 945,00 \text{ mm}$$

Syarat $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

945,00 mm > 300 mm (**memenuhi**)

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

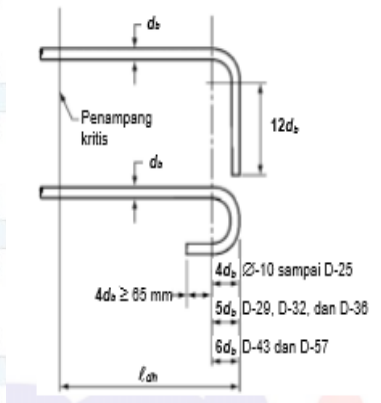
(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2**

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b & \text{atau} & \quad (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 22 & \text{atau} & \quad (0,043 \times 400) \cdot 22 \\ &= 385,6 \text{ mm} & \text{atau} & \quad 378,4 \text{ mm}\end{aligned}$$




Diambil 385,6 mm



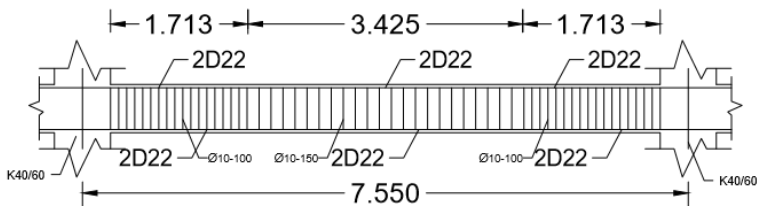
Gambar 4. 81 Detail panjang penyaluran

Panjang kait :

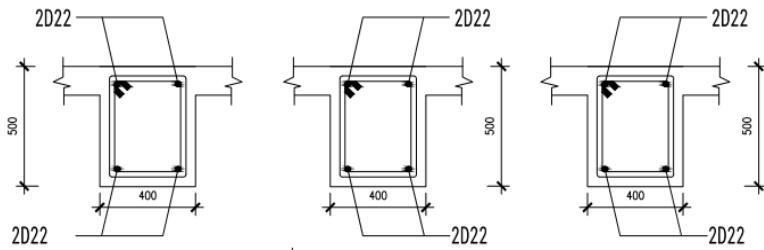
$$12 \times d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

TIPE BALOK	BORDES		
	400 X 500		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	10 - 100	10 - 150	10 - 100
TULANGAN PUNTIR	-		
SELIMUT BETON	40 mm		

Gambar 4. 82 Penulangan Balok Bordes



Gambar 4. 83 Detail Penulangan Balok Bordes

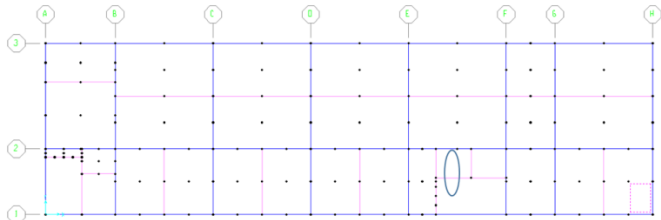


Gambar 4. 84 Potongan Detail Penulangan Balok Bordes

4.4.6 Perhitungan Balok Lift

a. Data Perencanaan

Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa program SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok sebagai berikut :



Gambar 4. 85 Denah Balok Lift yang Ditinjau

Data-data perencanaan perhitungan penulangan balok adalah sebagai berikut :

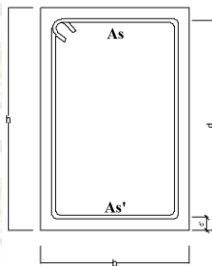
Bentang Balok (L)	= 2900 mm
Lebar Balok (b_{balok})	= 300 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 500 mm
Bentang Kolom (L_{kolom})	= 3000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Kuat Leleh Tulangan Puntir (f_{yt})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (D_{lentur})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Diameter Tulangan Puntir ($\emptyset_{\text{puntir}}$)	= 16 mm
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (S_{sejajar})	= 25 mm
Jarak Spasi Tulangan Antar Lapis ($S_{\text{antar lapis}}$)	= 25 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,8

Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ) = 0,75
 Faktor Reduksi Kekuatan Puntir (ϕ) = 0,75

Maka, tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 439 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tulangan lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 86 Tinggi Efektif Balok

- b. Hasil Output dan Diagram Gaya berdasarkan Analisa SAP 2000

Untuk perhitungan penulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi 1,4 D adalah kombinasi kritis dalam permodelan. *Frame* yang ditinjau yakni *frame* 634

Hasil Output Gaya Aksial



Gambar 4. 87 Output Gaya Aksial Torsi SAP 2000 Kombinasi 1,4 D

Gaya Aksial (Pu)

= 25,52 kg

Hasil Output Diagram Torsi



Gambar 4. 88 Output Momen Torsi SAP 2000

Kombinasi 1,4 D

Momen Torsi (Tu)

= 138,59 kg.m

Hasil Output Diagram Momen Lentur



Gambar 4. 89 Output Momen Lentur SAP 2000

Tumpuan Kiri Kombinasi 1,4 D



Gambar 4. 90 Output Momen Lentur SAP 2000

Lapangan Kombinasi 1,4 D



Gambar 4. 91 Output Momen Lentur SAP 2000

Tumpuan Kanan Kombinasi 1,4 D

Momen Tumpuan Kiri = 215,73 kg.m

Momen Lapangan = 507,23 kg.m

Momen Tumpuan Kanan = 1.020,45 kg.m

Hasil Output Diagram Gaya Geser



Gambar 4. 92 Output Gaya Geser SAP 2000 Kombinasi 1,4 D

Gaya Geser Terfaktor $V_u = 1.867,79 \text{ kg}$

c. Syarat Gaya Aksial pada Balok

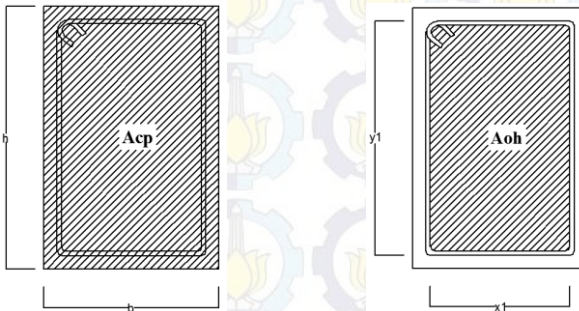
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi :

$$\frac{A_g \times f_c'}{10} = \frac{300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2}{10} = 450.000 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil analisa program SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,4 D pada komponen struktur sebesar $13.791,5 \text{ N} < 450.000 \text{ N}$

Periksa Kecukupan Dimensi Penampang terhadap Beban Lentur dan Puntir

Ukuran penampang balok yang dipakai : 30/50



Gambar 4. 93 Luas Penampang Balok

Luasan yang Dibatasi oleh Keliling Luar Irisan Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 150.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter Luar Irisan Penampang Beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1.600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luasan Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) \times ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= (300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \times (500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) \\ &= 80.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling Penampang Dibatasi As Tulangan Senggang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}) + ((h_{balok} - 2 \cdot \text{decking} - 2\phi_{geser}))] \\ &= 2 \times [(300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm})) + (500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}))] \\ &= 1.200 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.4.3.13 Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram torsi dari program SAP 2000 diperoleh momen puntir sebesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi 1,4 D

$$T_u = 138,59 \text{ kg.m} = 1.385.900 \text{ N.mm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = 86.618,75 \text{ N.mm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari:

$$\begin{aligned} Tu_{\min} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 4.794.711,919 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} Tu_{\max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 406.683.998,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$Tu_{\min} > Tu$ → tidak memerlukan tulangan puntir

$Tu_{\min} < Tu$ → memerlukan tulangan puntir

$Tu_{\min} < Tu$

$4.794.711,919 \text{ N.mm} < 1.385.900 \text{ N.mm} \rightarrow$ (maka dipasang tulangan puntir minimum, sebesar 2 Ø16 dikarenakan dimensi $h > 30 \text{ cm}$)

4.4.3.14 Perhitungan Penulangan Lentur

Garis Netral dalam Kondisi Balance

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = 263,4 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times X_b = 197,6 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{\min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 975.375 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Tarik (Asc)

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{f_y} = \frac{975.375 \text{ N}}{400 \text{ N/mm}^2} = 2.438 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1}{2}\right) = 427.775.090,6 \text{ N.mm}$$

- DAERAH TUMPUAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,4 D:

TUMPUAN KIRI

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{tumpuan}} = 2.157.300 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 2.696.625 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= -425.078.466 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

• Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 0,05 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0001$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0001 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 15,37 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentuk}}}} = 0,041 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentuk}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ 15,37 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 8D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ($S_{\max} < 30 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan
Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_s' = 1/3 A_s \text{ Tarik} = 5,124 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{Dlentur}}} = 0,013 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &< A_{s\text{pasang}} \\ 5,124 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 3D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima

kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

TUMPUAN KANAN

Momen Lentur Nominal

$$M_{u_{\text{tumpuan}}} = 10.204.500 \text{ N.mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 12.755.625 \text{ N.mm}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= -415.019.466 \text{ N.mm} < 0 \text{ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)}$$

- Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = 0,22 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = 0,0006$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0006 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 72,96 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{Dlentuk}}}} = 0,192 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$A_{s_{\text{pasang}}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentuk}}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$72,96 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$As' = 1/3 \text{ As Tarik} = 24,32 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{Luasan D_{\text{lentur}}} = 0,064 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$As_{\text{perlu}} < As_{\text{pasang}}$$

$$24,32 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tekan 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ M lentur tumpuan (-)

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 25,33 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Untuk penulangan tumpuan balok, diambil terbesar dari hasil tumpuan kanan dan tumpuan kiri. Sehingga hasil penulangan tumpuan kiri = penulangan tumpuan kanan. Jadi, penulangan lentur untuk balok induk adalah:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D22**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D22**

- DAERAH LAPANGAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi 1,4 D:

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} Mu_{\text{lapangan}} &= 5.072.300 \text{ N.mm} \\ Mn &= Mu / \phi = 6.340.375 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0 \rightarrow$ maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum

$$Mns = Mn - Mnc$$

$= -421.434.716 \text{ N.mm} < 0$ (maka menggunakan tulangan lentur tekan minimum)

- Perencanaan Tulangan Lentur Tarik

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c'} = 15,686$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f'c' \times \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} = 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,0163$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = 0,11 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} + \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] = 0,0003$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0003 < 0,0163 \quad (\text{OK})$$

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 36,18 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} = 0,095 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &< A_{s_{\text{pasang}}} \\ 36,18 \text{ mm}^2 &< 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{tarik}} &= \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1} \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

- Perencanaan Tulangan Lentur Tekan

Luasan Perlu (As Perlu) Tulangan Lentur Tekan

$$A_{s'} = 1/3 A_{s \text{ Tarik}} = 12,062 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}} = 0,032 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pasang}}}$$

$$12,062 \text{ mm}^2 < 760 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{\max} &\geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\ S_{\max} &\leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis} \end{aligned}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2D22

- Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{tarik}} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Ogeser}) - (n \cdot \phi b)}{n - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$156 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

maka dipasang tulangan lentur tekan 1 lapis

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom di ujung komponen tersebut. Momen lentur tumpuan (+) $\geq 1/3$ Momen lentur tumpuan (-)

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D_{\text{lentur}} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 1/3 \times 760 \text{ mm}^2$$

$$760 \text{ mm}^2 \geq 253,33 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22
- Tulangan lentur tekan susun satu lapis
Lapis 1 = 2D22

4.4.3.15 Perhitungan Penulangan Geser

Lebar Balok (b_{balok})	= 300 mm
Tinggi Balok (h_{balok})	= 500 mm
Bentang Bersih Balok (l_n)	= 2900 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Geser (ϕ_{geser})	= 10 mm
Faktor β_1	= 0,85
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,4 D dari analisa program SAP 2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 18.677,9 N

Pembagian Wilayah Geser Balok

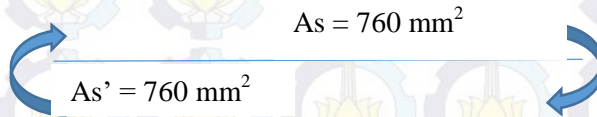
Dalam perhitungan tulangan geser pada balok, wilayah balok dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (*SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2*)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

Momen Nominal Penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

- 1) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kanan.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As' \cdot fy}{0.85 f_c' b}$$

$$a = 39,73 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As' \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nl} = 12,74 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 f_c' b}$$

$$a = 39,732 \text{ mm}$$

$$M_{nr} = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nr} = 12,7 \text{ Tm}$$

- 2) Momen nominal untuk struktur bergoyang ke kiri.



Momen nominal tumpuan kiri

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 f_c' b}$$

$$a = 39,732 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnl = 12,74 \text{ Tm}$$

Momen nominal tumpuan kanan

$$a = \frac{As' \cdot f_y}{0,85 f_c' b}$$

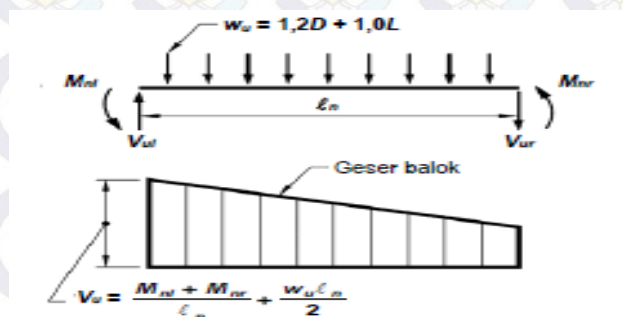
$$a = 39,73 \text{ mm}$$

$$Mnr = As' \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mnr = 12,74 \text{ Tm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 Gambar S21.5.4.

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4. 94 Output Gaya Geser SAP 2000

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.3.1(a))

Keterangan :

Vu_1 : Gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : Panjang bersih balok

Karena hasil M_n untuk struktur bergoyang ke kanan dan struktur bergoyak ke kiri maka $Vu_1 = Vu_2$.

$$\begin{aligned} l_n &= L_{\text{balok}} - 2\left(\frac{1}{2} \cdot b_{\text{kolom}}\right) \\ &= 2600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perhitungan geser pada ujung perletakan :

$$Vu_1 = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + Vu$$

$$Vu_1 = 18.775,897 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (fc')

Nilai $\sqrt{fc'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{fc'} < 25/3$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat Geser Beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\sqrt{fc'} \times b \times d \\ &= 0,17\sqrt{30} \times 300 \times 339 \\ &= 120.225 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{\min}} = 0,33 \times b \times d = 43.900 \text{ N}$$

$$V_s = 0,33 \times \sqrt{fc'} \times b \times d = 240.450 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = 0,67 \times \sqrt{fc'} \times b \times d = 480.900 \text{ N}$$

Penulangan Geser Balok

- Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Periksa Syarat

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser
 $18.775,897 \text{ N} < 34.814,61506 \text{ N}$ (**memenuhi, sehingga dipasang tulangan minimum**)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 1

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 219,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 100 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser ϕ 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \phi^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v\min} = \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) = 41,667 \text{ mm}^2$$

Cek Kontrol A_v : $A_v > A_{v\min}$
 $157 \text{ mm}^2 > 41,667 \text{ mm}^2$ (OK)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 165.415,2 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \phi \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 214.230,226 \text{ N} &> 18.775,897 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Cek Persyaratan SRPMM untuk Kekuatan Geser Balok

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- $8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$
- $24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$
- 300 mm

(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4(2))

$$100 \text{ mm} < 84,75 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 8 \times D_{\text{tulangan longitudinal}}$$

$$100 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 24 \times D_{\text{tulangan sengkang}}$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} \leq 300 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-100 mm

- Pada wilayah 2 (daerah lapangan)
Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} l_n - 2h} = \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} l_n}$$

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} l_n - 2h)}{\frac{1}{2} l_n} = 5.827,0026 \text{ N}$$

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$5.827,0026 \text{ N} < 34.814,61506 \text{ N} \quad (\text{memenuhi, sehingga dipasang tulangan minimum})$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 1

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = 219,5 \text{ mm}$$

Digunakan S sebesar 150 mm, disesuaikan agar memenuhi persyaratan jarak sengkang nanti

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø 10 mm dengan dua kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= (0,25 \times \pi \times 10^2) \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas penampang diperlukan:

$$A_{v_{\min}} = \left(\frac{b w x s}{3 x f_y} \right) = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Kontrol } A_v: \quad A_v &> A_{v_{\min}} \\ 157 \text{ mm}^2 &> 62,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = 110.276,8 \text{ N}$$

Cek kekuatan geser

$$\begin{aligned} \varnothing \times (V_c + V_s) &> V_u \\ 172.876,426 \text{ N} &> 5.827,0026 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq d/2 && \text{atau } S_{\max} \leq 600 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} &< 269,5 \text{ mm} && \text{atau } 150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \\ &&& \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, penulangan geser balok pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø 10-150 mm

4.4.3.16 Perhitungan Panjang Penulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12**

- Penyaluran Tulangan dalam Kondisi Tarik
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2**
Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.
(**SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut :

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_t \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Dimana :

λ_d = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

d_b = diameter tulangan tentur yang digunakan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan, digunakan 1,0

Ψ_e = faktor pelapis, digunakan 1

λ = faktor beton agregat ringan digunakan nilai 1
(beton normal)

$$\lambda_d = \left(\frac{f_y \times \Psi_t \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$= 945,09 \text{ mm} \approx 945,00 \text{ mm}$$

Syarat $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

945,00 mm > 300 mm (**memenuhi**)

- Penyaluran Tulangan Berkait dalam Kondisi Tekan
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3**
Panjang penyaluran berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm

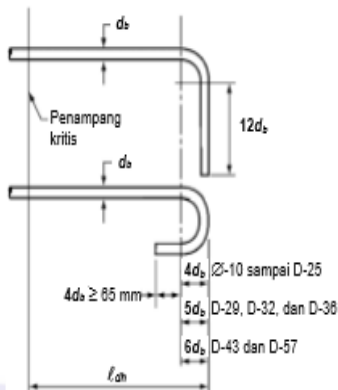
(SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.1)

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2**

panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times d_b & \text{atau} & \quad (0,043 f_y) d_b \\ &= \frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{30}} \times 22 & \text{atau} & \quad (0,043400) \cdot 22 \\ &= 385,6 \text{ mm} & \text{atau} & \quad 378,4 \text{ mm}\end{aligned}$$



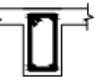
Diambil 385,6 mm



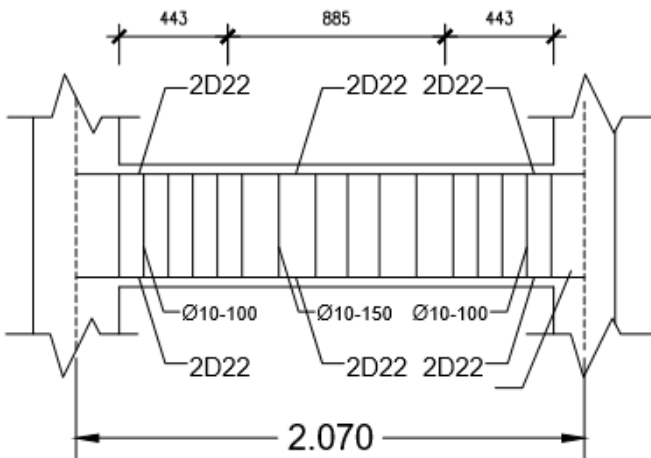
Gambar 4. 95 Detail panjang penyaluran

Panjang kait :

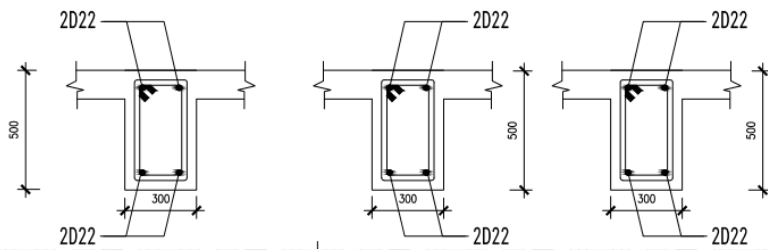
$$12 \times d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

TIPE BALOK	LIFT		
	300 X 500		
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
POTONGAN			
TULANGAN ATAS	2 D22	2 D22	2 D22
TULANGAN BAWAH	2 D22	2 D22	2 D22
SENGKANG	10 - 100	10 - 150	10 - 100
TULANGAN PUNTIR	-		
SELIMUT BETON	40 mm		

Gambar 4. 96 Penulangan Balok Lift



Gambar 4. 97 Detail Penulangan Balok Lift



Gambar 4. 98 Potongan Detail Penulangan Balok Lift

4.5 Perhitungan Kolom

4.5.1 Perhitungan Kolom Ditinjau Kombinasi 1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey

a. Penulangan Lentur



Data

Perencanaan

Frame Kolom	= 460
Tinggi Kolom Atas	= 3000 mm
Tinggi Kolom Bawah	= 4000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Modulus Elastisitas Beton (E_c)	= $4700 \sqrt{f_c'}$ = 25.742,96
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	= 200.000 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur ($f_{y_{lentur}}$)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser ($f_{y_{geser}}$)	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (\emptyset_{lentur})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
[SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1]	
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (s)	= 40 mm
[SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.3]	
Faktor β_1	= 0,85
[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7(1)]	
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,65
[SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2(2)]	
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
[SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2(3)]	
Maka tinggi efektif balok :	
d	= $b - \text{decking} - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset_{lentur}$ = 600 mm – 40 mm – 10 mm – $\frac{1}{2}$ 22 mm = 539 mm
d'	= $\text{decking} + \emptyset_{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset_{lentur}$

$$\begin{aligned}
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\
 &= 61 \text{ mm} \\
 d'' &= b - \text{decking} - \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b \\
 &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} - \frac{1}{2} 400 \\
 &= 339 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 460 didapatkan :



Gambar 4. 99 Output Gaya Aksial SAP 2000
Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$P_u (1,2 D + 1,6 L) = 1.909.138,4 \text{ N}$$



Gambar 4. 100 Output Gaya Aksial SAP 2000
Kombinasi 1,4 D

$$P_u (1,4 D) = 1.837.506,1 \text{ N}$$

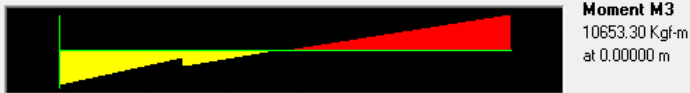
Momen Sway ditinjau Pu Maksimal (1,2 D + 1,6 L)

Momen akibat pengaruh gempa :

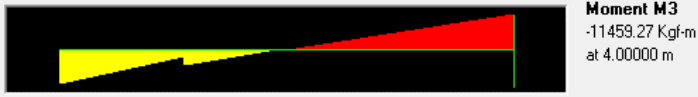
M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm (*SNI 2847-2013*)

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm (*SNI 2847-2013*)

Sumbu X'



Gambar 4. 101 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=0$)
Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex + 0,3 Ey
 $M_{1ns} = 106.078.800 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 102 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=4$)
Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex + 0,3 Ey
 $M_{2ns} = 114.592.700 \text{ N.mm}$

Sumbu Y



Gambar 4. 103 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=0$)
Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey
 $M_{2ns} = 323.624.100 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 104 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=4$)
Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey
 $M_{1ns} = 178.063.300 \text{ N.mm}$

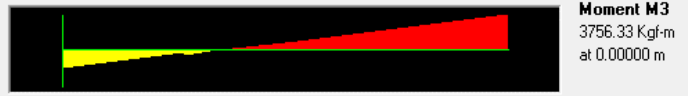
Momen *Non-Sway* ditinjau Pu Maksimal (1,2 D + 1,6 L)

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (*SNI 03-2847-2013*)

M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (SNI 03-2847-2013)

Sumbu X

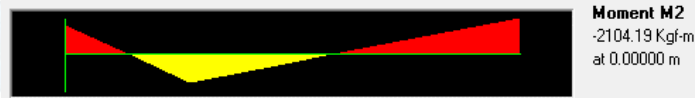


Gambar 4. 105 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 ($h=0$)
Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
 $M_{1s} = 37.563.300 \text{ N.mm}$

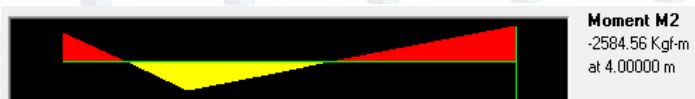


Gambar 4. 106 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 ($h=4$)
Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
 $M_{2s} = 76.335.500 \text{ N.mm}$

Sumbu Y



Gambar 4. 107 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 ($h=0$)
Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
 $M_{1s} = 21.041.900 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 108 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 (h=4)
 Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
 $M_{2s} = 25.845.600 \text{ N.mm}$

Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \times f_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5 (ketentuan kolom untuk SRPMM)

$$P_u > \frac{A_g \times f_c'}{10}$$

$$1.909.138,40 \text{ N} > 720.000 \text{ N}$$

Maka perhitungan kolom harus menggunakan syarat SRPMM.

Kontrol Kelangsingan Kolom

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\beta_d = \frac{1,4DL}{1,2DL + 1,6LL} = \frac{1.837.506,1}{1.909.138,4} = 0,96$$

Panjang Tekuk Kolom

$$\Psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{(EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk Kolom (40/60)

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0,4 \times E \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

$$I_g = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 = 5.040.000.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} = 2,6445 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Untuk Balok (40/60)

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

$$I_g = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 = 2.520.000.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} = 1,32225 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

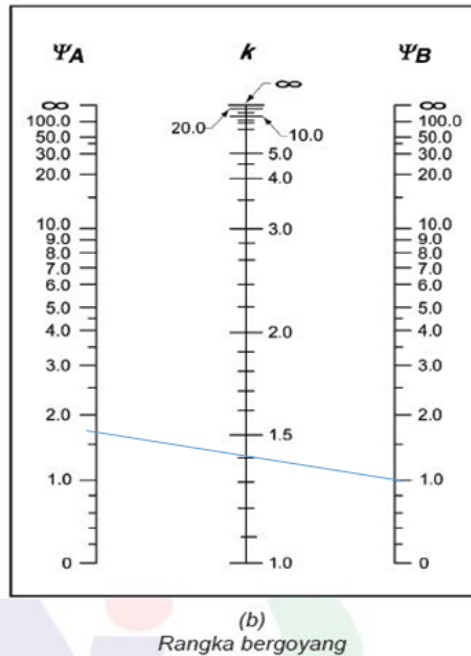
Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor tekuk (k).

Kekakuan Kolom Atas :

$$\Psi_a = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1}} = 1,85$$

Kekakuan Kolom Batas :

$$\Psi_b = 1,00 \text{ (karena tertumpu pada pondasi)}$$



Gambar 4. 109 Grafik Alignment SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7

Dari grafik alignment didapatkan nilai $k = 1,4$

Menghitung Radius Girasi (r)

SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1.2 radius girasi dicari dengan rumus :

$$r = 0,3 \times h = 180 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

Nilai $\frac{k \times l}{r} \leq 22 \rightarrow$ pengaruh kelangsingan dapat diabaikan

Nilai $\frac{k \times l}{r} > 22 \rightarrow$ pengaruh kelangsingan
diperhitungkan

$$\frac{k \times l}{r} \leq 22$$

$31,11 > 22$ maka pengaruh kelangsingan
diperhitungkan

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X
Menghitung Nilai P_c (P kritis) pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2}$$

$$= 11.651.871 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$= 279.644.903 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$= 45.819.322 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$= 1,28 \geq 1$$

Maka digunakan nilai $\delta_s = 1,28$ dalam perhitungan
perbesaran momen.

Pembesaran Momen X:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s}$$

$$= 184.188.336,38 \text{ N.mm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s}$$

$$= 212.066.728,16 \text{ N.mm}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 212.066.728,16 \text{ N.mm}$$

Menentukan Nilai ρ_{perlu} dari Diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan
lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku

Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\mu_h = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}}$$

$$= 478 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{\mu_h}{h_{\text{kolom}}}$$

$$= 0,8$$

Sumbu Vertikal

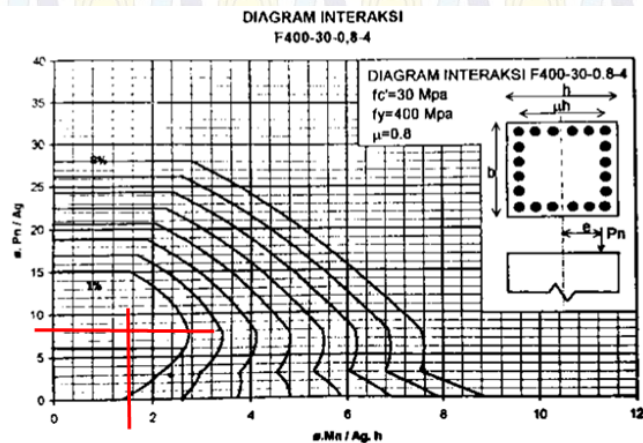
$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h}$$

$$= 8 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2}$$

$$= 1,47 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 110 Diagram Interaksi untuk menentukan

ρ_{perlu}

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 0,67 \% = 0,007$

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$$

$$= 2.400 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Lentur

Digunakan tulangan lentur D22

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{Luas tulangan D22}} \\ &= 6,31 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 2.660,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 7D22

Prosentase Tulangan Terpasang

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \\ &= 1,0 \% < 8 \% \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Mencari e_{perlu} dan e_{min}

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= 326.256.504,86 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= 2.937.136 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= \frac{M_n}{P_n} \\ &= 111,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= 15,24 + (0,3 \times h) \\ &= 33,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Balance :

$$\text{Syarat : } \varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$$

$$d = b - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}}$$

$$= 539 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}}$$

$$= 61 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b$$

$$= 139 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= 323,4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \times x_b$$

$$= 274,89 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 898.800 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 960.000 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.803.878 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.742.678 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left(d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1.174.305.388,29 \text{ N.mm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 428,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_u / P_u$$

$$= 111,08 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$33,24 \text{ mm} < 111,1 \text{ mm} < 428,16 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 291,1 \text{ mm}$$

$$x = 342,4 \text{ mm}$$

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= 0,001722$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\epsilon_s < \epsilon_y$$

$$0,001722 < 0,002 \text{ (memenuhi)}$$

$$Cc' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.968.812 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 826.667 \text{ N}$$

$$P = Cc' + Cs' - T$$

$$= 3.040.945 \text{ N}$$

Kontrol :

$$P > P_b$$

$$3.040.945 \text{ N} > 2.742.678 \text{ N (memenuhi)}$$

$$A = 0,85x = 291 \text{ mm}$$

$$M_n = Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1.175.073.456,31 \text{ N.mm}$$

Kontrol :

$$M_n \text{ pasang} > M_n$$

$$1.175.073.456,31 \text{ N.mm} > 326.256.504,86 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y
Menghitung Nilai P_c (P kritis) pada Kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2} \\ &= 11.651.871 \text{ N} \\ \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 279.644.903 \text{ N} \\ \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 45.819.322 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1 \\ &= 1,28 > 1 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai $\delta_s = 1,28$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen Y:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s} \\ &= 248.879.605,54 \text{ N.mm} \\ M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s} \\ &= 439.422.937,99 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_1 = 350.422.937,99 \text{ N.mm}$$

Menentukan Nilai ρ_{perlu} dari Diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu_h &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 578 \text{ mm} \end{aligned}$$

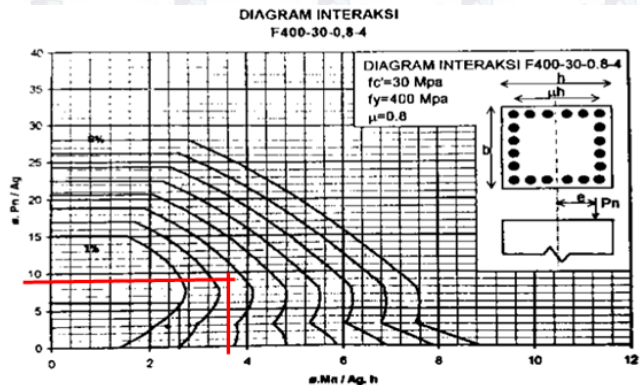
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = 0,83$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = 8 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = 3,56 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 111 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2,4 \% = 0,024$

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h = 5.760 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Lentur

Digunakan tulangan lentur D22

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan D25}} \\ = 15,15 \text{ buah} \approx 16 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ = 6.082,1234 \text{ mm}^2$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 16D22

Prosentase Tulangan Terpasang

$$= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h} \\ = 2,4 \% < 8 \% \quad (\text{memenuhi})$$

Mencari e_{perlu} dan e_{min}

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \\ = 676.820.029,98 \text{ N.mm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} \\ = 2.937.136 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n} \\ = 230,4 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = 15,24 + (0,3 \times h) \\ = 33,24 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance :

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = b - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}} \\ = 539 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}} \\ = 61 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \phi_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b \\ = 139 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= 323,4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \times x_b$$

$$= 274,89 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 2.157.120 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 2.304.000 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.803.878 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.656.998 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left(d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1.787.691.868,29 \text{ N.mm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 672,8 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_u / P_u$$

$$= 230,44 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$33,24 \text{ mm} < 230,44 \text{ mm} < 672,82 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 291,1 \text{ mm}$$

$$x = 342,4 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \times 0,003 \\ &= 0,001722\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \times 600 \\ &= 344,44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &< \varepsilon_y \\ 0,00172 &< 0,002 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b \\ &= 2.968.812 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \times f_y \\ &= 1.984.000 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= Cc' + Cs' - T \\ &= 3.141.932 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol :

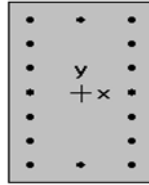
$$\begin{aligned}P &> P_b \\ 3.141.932 \text{ N} &> 2.656.998 \text{ N (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2}\right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 1.958.465.177,05 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}M_n \text{ pasang} &> M_n \\ 1.335.942.789,64 \text{ N.mm} &> 676.820.029,98 \text{ N.mm} \\ &\text{(**memenuhi**)}\end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu 16D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut :



Gambar 4. 112 Model Pemasangan Kolom

Prosentase tulangan terpasang :

$$A_{s_{pasang}} = 16 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) = 6.082,1234 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} < S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \text{lentur})}{n - 1}$$

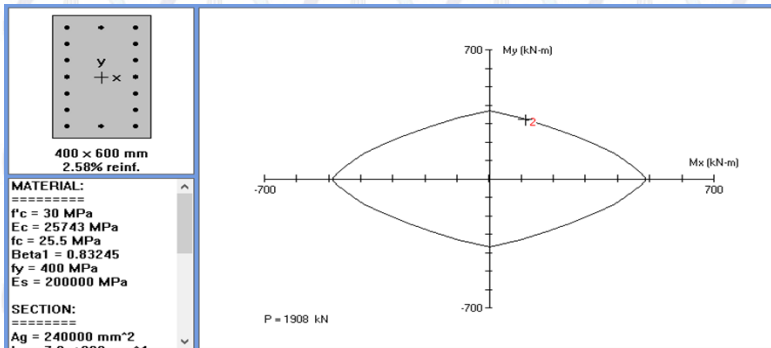
$$= 36,6 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Maka penampang perlu diperbesar

Cek dengan Program PCAColomnn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan dalam analisis PCAColomnn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 MPa
Modulus elastisitas	= 25.743 MPa
β_1	= 0,85
b kolom	= 400 mm
h kolom	= 600 mm
Mux (M3 terbesar dari kombinasi SAP)	= 113 kNm
Muy (M2 terbesar dari kombinasi SAP)	= 321,5 kNm
Pu (kombinasi ultimate)	= 1.908 kN
Tulangan kolom pasang	= 16D22



Gambar 4. 113 Cek dengan program PCAColonn

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	3148.4	48.8	4.0	395.8	32.4	8.110
2	1908.0	113.0	321.5	113.0	321.6	1.000
3	2356.0	370.0	118.0	386.7	123.3	1.045

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 114 Hasil perhitungan program PCAColonn

Berdasarkan output PCAColonn

$M_{ux} = 106$ kNm $<$ $M_{nx} = 113$ kNm

$M_{uy} = 321$ kNm $<$ $M_{ny} = 322$ kNm

Maka kolom tetap dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi

b. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

Data Perencanaan :

Lebar Kolom (b_{kolom}) = 400 mm

Tinggi Kolom (h_{kolom}) = 600 mm

Tebal Selimut Beton = 40 mm

Tinggi Kolom = 4000 mm

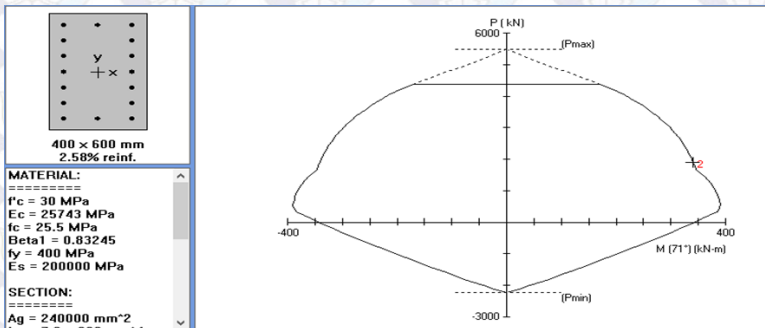
Mutu Beton (f'_c) = 30 MPa

Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser	= 10 mm
Faktor Reduksi	= 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2(3)]	

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom sebagai berikut :

$$P_u = (1,2 D + 1,6 L) \\ = 1.909.138,4 \text{ N}$$

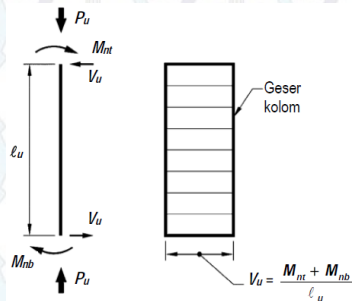
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCAColumn sebagai berikut:



Gambar 4. 115 Output program PCAColumn

$$M_{nt} = 390.000.000 \text{ N.mm}$$

$$M_{nb} = 390.000.000 \text{ N.mm}$$



Gambar 4. 116 Geser Desain untuk rangka momen menengah
SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas kolom

M_{nb} = momen nominal bawah kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

$$= 260.000 \text{ N}$$

Momen Kapasitas Balok:

Tabel 4. 18 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal

Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Jumlah	As (mm ²)	Lapis	d (mm)	a (mm)
22	380,13	8	3.041,062	2	540	119,26
22	380,13	3	1.140,398	1	560	44,72

Akibat gempa kiri

$$M_{n1} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 584.335.550,7 \text{ N.mm}$$

$$M_{n2} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 245.249.119,9 \text{ N.mm}$$

Akibat gempa kanan

$$M_{n1} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 584.335.550,7 \text{ N.mm}$$

$$Mn_2 = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 245.249.119,9 \text{ N.mm}$$

Mn sama karena tulangan yang dipasang sama

$$Vs = \frac{2 \times ((Mn_1 + Mn_2) \times DF)}{Lu} = 207,4 \text{ kN}$$

$$Dftop = Dfbottom = 0,5$$

Lalu, dibandingkan dengan output Vu kolom pada SAP:



Gambar 4. 117 Output Vu kolom pada SAP

Output SAP didapat $Vu = 207,4 \text{ kN}$

Maka digunakan Vu terbesar, yakni $282,06 \text{ kN}$

Cek Kebutuhan Penulangan Geser :

$$\frac{Vu}{\phi} > \frac{1}{2} Vc$$

$$376,1 \text{ kN} > 98,59 \text{ kN}$$

Maka kolom perlu dipasang tulangan geser

Cek Tulangan Geser Minimum:

$$\frac{Vu}{\phi} > Vc + \frac{1}{3} bw \times d$$

$$376,1 \text{ kN} > 277,18012 \text{ kN}$$

Maka dipasang tulangan geser sebesar As perlu

$$Vs = Vu - Vc = 84,88 \text{ kN}$$

Kebutuhan spasi tulangan:

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs} = 444,147 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\emptyset 10$ dengan n kaki = 2

$$Av_{pakai} = 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 157,08 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak 250 mm, lalu di cek dengan persyaratan sebagai berikut:

- a. $16d_{\text{lentur}} = 352 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
(memenuhi)
- b. $48d_{\text{geser}} = 480 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
(memenuhi)
- c. $d/2 = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
(memenuhi)
- d. $s = 600 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$
(memenuhi)

Cek $S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$
 $250 \text{ mm} < 444,1 \text{ mm}$ (memenuhi)

Maka, untuk tulangan geser dipasang sengkang Ø10-250 mm

Cek Syarat SRPMM

SNI Beton pasal 21.3.5.2 tentang jarak lo dari muka kolom, tidak kurang dari:

$$1/6 l_u = 566,67 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l = 450 \text{ mm}$$

Maka dipilih lo sebesar 600 mm

Jarak sengkang rentang lo tidak boleh lebih dari:

$$\text{a. } 8d_{\text{lentur}} = 176 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 24d_{\text{geser}} = 240 \text{ mm}$$

$$\text{c. } bw/2 = 200 \text{ mm}$$

$$\text{d. } 300 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Maka dipilih jarak sengkang maksimum 176 mm
 Sehingga, dipasang sengkang sebesar 150 mm

Kebutuhan tulangan:

$$A_v = \frac{bw \times s}{3 \times f_y} = 50 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser Ø10 dengan n kaki = 2

$$A_{v_{pakai}} = 0,25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki} \\ = 157,08 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } A_{v_{pakai}} < A_{v_{perlu}} \\ 157,08 \text{ mm} < 50 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka, untuk tulangan geser dipasang sengkang $\phi 10$ -150 mm

4.5.2 Perhitungan Kolom Ditinjau Kombinasi 1,2D + 1,6L

a. Penulangan Lentur

•

Perencanaan	Data
Frame Kolom	= 423
Tinggi Kolom Atas	= 3000 mm
Tinggi Kolom Bawah	= 4000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f_c)	= 30 MPa
Modulus Elastisitas Beton (E_c)	= $4700 \sqrt{f_c}$ = 25.742,96
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	= 200.000 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur ($f_{y_{lentu}}$)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser ($f_{y_{geser}}$)	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (ϕ_{lentu})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (ϕ_{geser})	= 10 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
[SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1]	
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (s)	= 40 mm
[SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.3]	
Faktor β_1	= 0,85
[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7(1)]	
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,65
[SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2(2)]	
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
[SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2(3)]	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 339 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b \\ &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} - \frac{1}{2} 400 \\ &= 139 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 423 didapatkan :



Gambar 4. 118 Output Gaya Aksial SAP 2000
Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$P_u (1,2 D + 1,6 L) = 3.148.415,6 \text{ N}$$



Gambar 4. 119 Output Gaya Aksial SAP 2000
Kombinasi 1,4 D

$$P_u (1,4 D) = 2.881.364,8 \text{ N}$$

Momen Sway ditinjau Momen X Maksimal (1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey)

Momen akibat pengaruh gempa :

M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm
(SNI 2847-2013)

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm (*SNI 2847-2013*)

Sumbu X dan Y

Tidak ada pengaruh gempa, sehingga tidak ada momen *sway*

Momen *Non-Sway* ditinjau P_u Maksimal ($1,2 D + 1,6 L$)

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (*SNI 03-2847-2013*)

M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (*SNI 03-2847-2013*)

Sumbu X



Gambar 4. 120 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000

($h=0$) Kombinasi $1,2 D + 1,6 L$

$M_{1s} = 15.474.100 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 121 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000

($h=4$) Kombinasi $1,2 D + 1,6 L$

$M_{2s} = 48.789.100 \text{ N.mm}$

Sumbu Y



Gambar 4. 122 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000
(h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
 $M_{1s} = 3.294.000 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 123 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000
(h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
 $M_{2s} = 3.981.500 \text{ N.mm}$

Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \times f_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5 (ketentuan kolom untuk SRPMM)

$$P_u < \frac{A_g \times f_c'}{10}$$

$$3.148.415,60 \text{ N} > 720.000 \text{ N}$$

Maka perhitungan kolom harus menggunakan syarat SRPMM.

Kontrol Kelangsingan Kolom

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\beta_d = \frac{1,4DL}{1,2DL + 1,6LL} = \frac{2.881.364,8}{3.148.415,6}$$

$$= 0,92$$

Panjang Tekuk Kolom

$$\Psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{(EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk Kolom (40/60)

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

$$I_g = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 5.040.000.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$= 2,70981 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Untuk Balok (40/60)

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

$$I_g = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 2.520.000.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$= 1,35491 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor tekuk (k).

Kekakuan Kolom Atas :

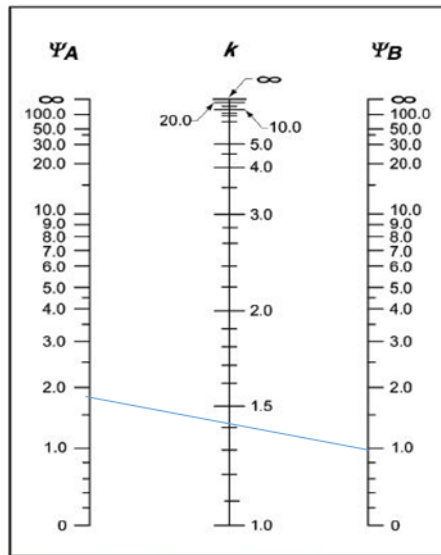
$$\Psi_a = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1}}$$

$$= 1,85$$

Kekakuan Kolom Batas :

$$\Psi_b = 1,00 \text{ (karena tertumpu pada pondasi)}$$

Lalu, tinjau grafik:



(b)
Rangka bergoyang

Gambar 4. 124 Grafik *alignment* SNI 03-2847-2013
Pasal 10.10.7

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7

Dari grafik alignment didapatkan nilai $k = 1,42$

Menghitung Radius Girasi (r)

SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1.2 radius girasi dicari dengan rumus :

$$r = 0,3 \times h = 180 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

Nilai $\frac{k \times l}{r} \leq 22$ → pengaruh kelangsingan dapat diabaikan

Nilai $\frac{k \times l}{r} > 22$ → pengaruh kelangsingan diperhitungkan

$$\frac{k \times l}{r} \leq 22$$

31,56 > 22 maka pengaruh kelangsingan diperhitungkan

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X
Menghitung Nilai P_c (P kritis) pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2}$$

$$= 11.771.478 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$= 282.515.469 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$= 75.561.974 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$= 1,55 \geq 1$$

Maka digunakan nilai $\delta_s = 1,55$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen X:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s}$$

$$= 15.474.100 \text{ N.mm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s}$$

$$= 48.789.100 \text{ N.mm}$$

Diambil momen terbesar yaitu 48.789.100 N.mm

Menentukan Nilai ρ_{perlu} dari Diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\mu_h = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}}$$

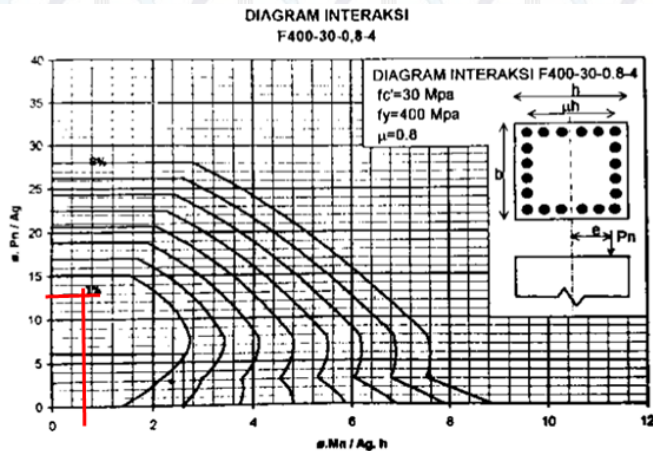
$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = 0,8$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} = 13,1 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 125 Diagram Interaksi untuk menentukan

ρ_{perlu}

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 0,83 \% = 0,008$

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h = 2.400 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Lentur

Digunakan tulangan lentur D22

$$\text{Luas Tulangan D22} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan D25}}$$

$$= 6,31 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 2.660,929 \text{ mm}^2$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 7D22

Prosentase Tulangan Terpasang

$$= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h}$$

$$= 1,0 \% < 8 \% \quad (\text{memenuhi})$$

Mencari e_{perlu} dan e_{min}

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= 75.060.153,85 \text{ N.mm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$

$$= 4.843.716,31 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$= 15,5 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = 15,24 + (0,3 \times h)$$

$$= 33,24 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance :

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = b - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}}$$

$$= 539 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \varnothing_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}}$$

$$= 61 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b$$

$$= 139 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= 323,4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \times x_b$$

$$= 274,89 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 898.800 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 960.000 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.803.878 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.742.678 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left(d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1.174.305.388,29 \text{ N.mm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 428,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_u / P_u$$

$$= 15,5 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$33,24 \text{ mm} < 15,5 \text{ mm} < 428,16 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 291,1 \text{ mm}$$

$$x = 342,4 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,001722 \\
 f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600 \\
 &= 344,44 \text{ MPa} \\
 \varepsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,001722 < 0,002 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x \times b \\
 &= 2.968.812 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_s \\
 &= 826.667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 3.040.945 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 P &> P_b \\
 3.040.945 \text{ N} &> 2.742.678 \text{ N (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$A = 0,85x = 291 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 1.175.073.456,31 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &> M_n \\
 1.175.073.456,31 &> 75.060.153,85 \text{ N.mm} \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y
Menghitung Nilai P_c (P kritis) pada Kolom

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2} \\
 &= 11.771.478 \text{ N} \\
 \Sigma P_c &= n \times P_c \\
 &= 282.515.469 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 75.561.974 \text{ N}\end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\begin{aligned}\delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1 \\ &= 1,55 > 1\end{aligned}$$

Maka digunakan nilai $\delta_s = 1,55$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen Y:

$$\begin{aligned}M_{1l} &= M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s} \\ &= 3.294.000 \text{ N.mm} \\ M_{2l} &= M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s} \\ &= 3.981.500 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 3.981.500 \text{ N.mm}$$

Menentukan Nilai ρ_{perlu} dari Diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\begin{aligned}\mu_h &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 578 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu_h}{h_{\text{kolom}}} = 0,83$$

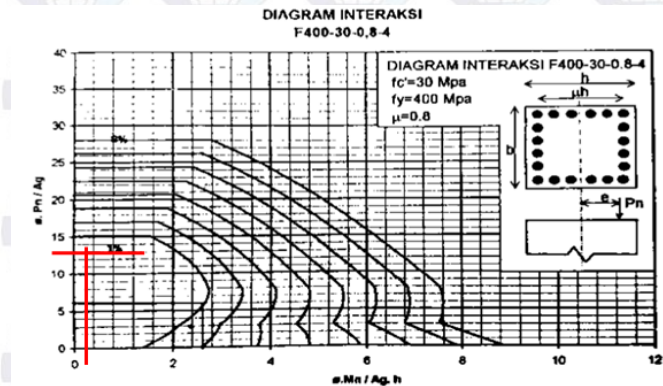
Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \times h} \\ &= 13,1 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2}$$

$$= 0,03 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 126 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 0,80 \% = 0,008$

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$$

$$= 2.400 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Lentur

Digunakan tulangan lentur D22

$$\text{Luas Tulangan D22} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{Luas tulangan D25}}$$

$$= 6,31 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$A_{s\text{pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 3.041,062 \text{ mm}^2$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 8D22

Prosentase Tulangan Terpasang

$$= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h}$$

$$= 1,00 \% < 8 \%$$

(memenuhi)

Mencari e_{perlu} dan e_{min}

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= 6.125.384,62 \text{ N.mm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$

$$= 4.843.716,31 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$= 1,3 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = 15,24 + (0,3 \times h)$$

$$= 33,24 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance :

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = b - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}}$$

$$= 539 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}}$$

$$= 61 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b$$

$$= 139 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= 323,4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \times x_b$$

$$= 274,89 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 898.800 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 960.000 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.803.878 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\ = 2.742.678 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b \\ = C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ = 1.174.305.388,29 \text{ N.mm}$$

$$e_b = M_b / P_b \\ = 428,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_u / P_u \\ = 1,26 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$33,24 \text{ mm} < 1,26 \text{ mm} < 428,16 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 291,1 \text{ mm}$$

$$x = 342,4 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003 \\ = 0,001722$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600 \\ = 344,44 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s \\ = 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \\ 0,00172 < 0,002 \text{ (memenuhi)}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$\begin{aligned}
 T &= 2.968.812 \text{ N} \\
 &= A_s \times f_y \\
 &= 826.667 \text{ N} \\
 P &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 3.040.945 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

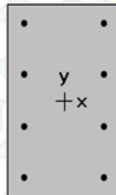
$$\begin{aligned}
 P &> P_b \\
 3.040.945 \text{ N} &> 2.742.678 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
 &= 1.175.073.456,31 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ pasang} &> M_n \\
 1.175.073.456,31 \text{ N.mm} &> 6.125.384,62 \text{ N.mm} \\
 \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu 8D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut :



Gambar 4. 127 Model Pemasangan Kolom

Prosentase tulangan terpasang :

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 8 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) = 3.041,062 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} < S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \text{lentur})}{n - 1}$$

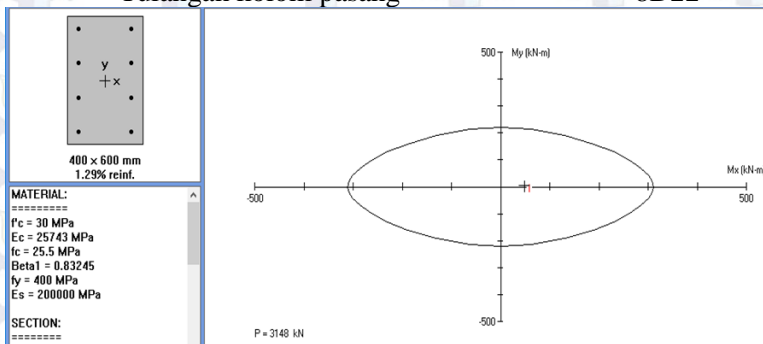
$$= 102 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis.

Cek dengan Program PCAColonn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan dalam analisis PCAColonn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 MPa
Modulus elastisitas	= 25.743 MPa
β_1	= 0,85
b kolom	= 400 mm
h kolom	= 600 mm
Mux (M3 terbesar dari kombinasi SAP)	= 48,8 kNm
Muy (M2 terbesar dari kombinasi SAP)	= 4 kNm
Pu (kombinasi ultimate)	= 3.148,4 kN
Tulangan kolom pasang	= 8D22



Gambar 4. 128 Cek dengan program PCAColonn

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	3148.4	48.8	4.0	306.0	25.1	6.270
2	1909.1	323.6	114.6	322.7	114.3	0.997#
3	2356.8	370.1	118.8	321.7	103.3	0.869#

#- Column section cannot resist applied loads

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 129 Hasil perhitungan program PCAColomnn

Berdasarkan output PCAColomnn

$M_{ux} = 0 \text{ kNm} < M_{nx} = 306 \text{ kNm}$

$M_{uy} = 0 \text{ kNm} < M_{ny} = 25 \text{ kNm}$

Maka kolom tetap dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi

b. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

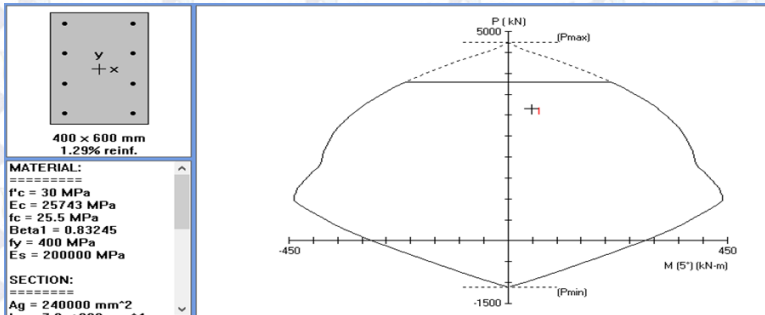
Data Perencanaan :

Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Tebal Selimut Beton	= 40 mm
Tinggi Kolom	= 4000 mm
Mutu Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser	= 10 mm
Faktor Reduksi	= 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2(3)]	

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_u &= (1,2 D + 1,6 L) \\
 &= 3.148.415,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

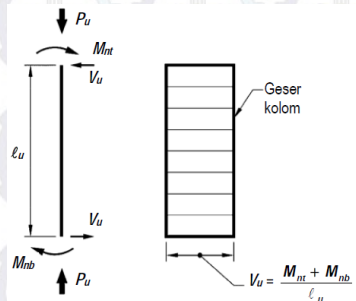
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCAColumn sebagai berikut:



Gambar 4. 130 Output program PCAColumn

$$M_{nt} = 440.000.000 \text{ N.mm}$$

$$M_{nb} = 440.000.000 \text{ N.mm}$$



Gambar 4. 131 Geser Desain untuk rangka momen menengah
SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas kolom

M_{nb} = momen nominal bawah kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u}$$

$$= 293.333 \text{ N}$$

Momen Kapasitas Balok:

Tabel 4. 19 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal

Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Jumlah	As (mm ²)	Lapis	d (mm)	a (mm)
22	380,13	8	3.041,062	2	540	119,26
22	380,13	3	1.140,398	1	540	44,72

Akibat gempa kiri

$$M_{n1} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 584.335.550,7 \text{ N.mm}$$

$$M_{n2} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 245.249.119,9,6 \text{ N.mm}$$

Akibat gempa kanan

$$M_{n1} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 584,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{n2} = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 245,25 \text{ kN.m}$$

Mn sama karena tulangan yang dipasang sama

$$V_s = \frac{2 \times ((M_{n1} + M_{n2}) \times DF)}{L_u} = 207,4 \text{ kN}$$

$$Df_{top} = Df_{bottom} = 0,5$$

Lalu, dibandingkan dengan output Vu kolom pada SAP:



Gambar 4. 132 Output Vu kolom pada SAP

Output SAP didapat $V_u = 16,07 \text{ kN}$

Maka digunakan V_u terbesar, yakni $293,33 \text{ kN}$

Cek Kebutuhan Penulangan Geser :

$$\frac{V_u}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$$

$$391,1 \text{ kN} > 98,59 \text{ kN}$$

Maka kolom perlu dipasang tulangan geser

Cek Tulangan Geser Minimum:

$$\frac{V_u}{\phi} > V_c + \frac{1}{3} b_w x d$$

$$391,1 \text{ kN} > 277,18012 \text{ kN}$$

Maka dipasang tulangan geser sebesar A_s perlu

$$V_s = V_u - V_c = 96,15 \text{ kN}$$

Kebutuhan spasi tulangan:

$$S = \frac{A_v x f_y x d}{V_s} = 392,073 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser Ø10 dengan n kaki = 2

$$A_{v \text{ pakai}} = 0,25 x \pi x \phi^2 x n \text{ kaki} \\ = 157,08 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak 250 mm, lalu di cek dengan persyaratan sebagai berikut:

$$a. \quad 16d_{\text{lentur}} = 352 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

(memenuhi)

$$b. \quad 48d_{\text{geser}} = 480 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

(memenuhi)

$$c. \quad d/2 = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

(memenuhi)

$$d. \quad s = 600 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

(memenuhi)

$$\text{Cek } S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$$

$$250 \text{ mm} < 392,1 \text{ mm} \text{ **(memenuhi)**}$$

Maka, untuk tulangan geser dipasang sengkang Ø10-250 mm

Cek Syarat SRPMM

SNI Beton pasal 21.3.5.2 tentang jarak l_o dari muka kolom, tidak kurang dari:

$$1/6 l_u = 566,67 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l = 450 \text{ mm}$$

Maka dipilih l_0 sebesar 600 mm

Jarak sengkang rentang l_0 tidak boleh lebih dari:

- $8d_{\text{lentur}} = 176 \text{ mm}$
- $24d_{\text{geser}} = 240 \text{ mm}$
- $bw/2 = 200 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Maka dipilih jarak sengkang maksimum 176 mm
 Sehingga, dipasang sengkang sebesar 150 mm

Kebutuhan tulangan:

$$A_v = \frac{bw \times s}{3 \times f_y} = 50 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser Ø10 dengan n kaki = 2

$$A_{v\text{pakai}} = 0,25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki} \\ = 157,08 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } A_{v\text{pakai}} > A_{v\text{perlu}} \\ 157,08 \text{ mm} > 50 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka, untuk tulangan geser dipasang sengkang Ø10-150 mm

4.5.3 Perhitungan Kolom Ditinjau Gempa Y

a. Penulangan Lentur

	Data
Perencanaan	
Frame Kolom	= 424
Tinggi Kolom Atas	= 4000 mm
Tinggi Kolom Bawah	= 3000 mm
Lebar Kolom (b_{kolom})	= 400 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 600 mm
Kuat Tekan Beton (f_c);	= 30 MPa
Modulus Elastisitas Beton (E_c)	= $4700 \sqrt{f_c}$ = 25.742,96
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	= 200.000 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur ($f_{y_{lentuk}}$)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser ($f_{y_{geser}}$)	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur (\emptyset_{lentuk})	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser (\emptyset_{geser})	= 10 mm
Tebal Selimut Beton (decking)	= 40 mm
[SNI 03-2847-2013 Pasal 7.7.1]	
Jarak Spasi Tulangan Sejajar (s)	= 40 mm
[SNI 03-2847-2013 Pasal 7.6.3]	
Faktor β_1	= 0,85
[SNI 03-2847-2013 Pasal 10.2.7(1)]	
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	= 0,65
[SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2(2)]	
Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ)	= 0,75
[SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2(3)]	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentuk}} \\
 &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} \\
 &= 339 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentuk}} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} 22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 61 \text{ mm} \\
 d'' &= b - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b \\
 &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 22 \text{ mm} - \frac{1}{2} 400 \\
 &= 139 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 424 didapatkan :



Gambar 4. 133 Output Gaya Aksial SAP 2000 Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$P_u (1,2 D + 1,6 L) = 2.356.840,10 \text{ N}$$



Gambar 4. 134 Output Gaya Aksial SAP 2000 Kombinasi 1,4 D

$$P_u (1,4 D) = 2.330.032,30 \text{ N}$$

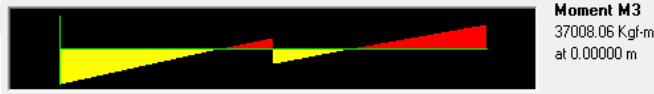
Momen Sway ditinjau Momen Y Maksimal (1,2D + 1L + 0,3Ex + 1Ey)

Momen akibat pengaruh gempa :

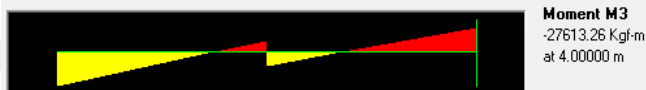
M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm (SNI 2847-2013)

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm (SNI 2847-2013)

Sumbu X

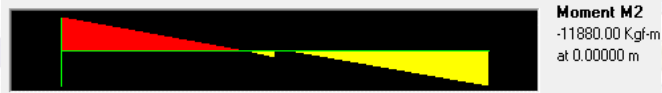


Gambar 4. 135 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=0$)
 Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey
 $M_{2ns} = 370.080.600 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 136 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=3$)
 Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey
 $M_{1ns} = 276.132.600 \text{ N.mm}$

Sumbu Y



Gambar 4. 137 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=0$)
 Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey
 $M_{2ns} = 118.800.600 \text{ N.mm}$



Gambar 4. 138 Output Momen *Sway* SAP 2000 ($h=3$)
 Kombinasi 1,2 D + 1 L + 0,3 Ex + 1 Ey
 $M_{1ns} = 117.299.900 \text{ N.mm}$

Momen *Non-Sway* ditinjau Pu Maksimal (1,2 D + 1,6 L)

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (SNI 03-2847-2013)

M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping. (SNI 03-2847-2013)

Sumbu X



Gambar 4. 139 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$M_{1s} = 2.151.800 \text{ N.mm}$$



Gambar 4. 140 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$M_{2s} = 49.787.400 \text{ N.mm}$$

Sumbu Y



Gambar 4. 141 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 (h=0) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$M_{2s} = 36.303.200 \text{ N.mm}$$



Gambar 4. 142 Output Momen *Non-Sway* SAP 2000 (h=4) Kombinasi 1,2 D + 1,6 L

$$M_{1s} = 29.855.100 \text{ N.mm}$$

Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari $A_g \times f_c' / 10$ dan bila P_u lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5 (ketentuan kolom untuk SRPMM)

$$P_u > \frac{A_g \times f_c'}{10}$$

$$2.356.840,1 \text{ N} > 720.000 \text{ N}$$

Maka perhitungan kolom harus menggunakan syarat SRPMM.

Kontrol Kelangsingan Kolom

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\beta_d = \frac{1,4DL}{1,2 DL + 1,6 LL} = \frac{2.330.032,3}{2.356.840,1} = 0,99$$

Panjang Tekuk Kolom

$$\Psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{(EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk Kolom (40/60)

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

$$I_g = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 5.040.000.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$= 2,60973 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Untuk Balok (40/60)

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

$$I_g = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 2.520.000.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$= 1,30487 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor tekuk (k).

Kekakuan Kolom Atas :

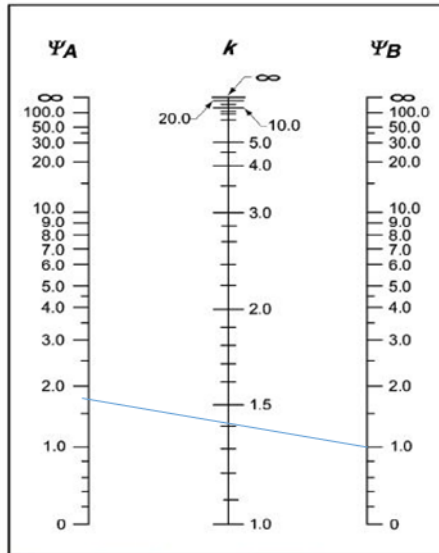
$$\Psi_a = \frac{\Sigma (EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1} + (EI/L)_{B_1}}$$

$$= 1,85$$

Kekakuan Kolom Batas :

$$\Psi_b = 1,00 \text{ (karena tertumpu pada pondasi)}$$

Lalu, tinjau grafik:



(b)
Rangka bergoyang

Gambar 4. 143 Grafik *alignment* SNI 03-2847-2013
Pasal 10.10.7

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7

Dari grafik alignment didapatkan nilai $k = 1,4$

Menghitung Radius Girasi (r)

SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1.2 radius girasi dicari dengan rumus :

$$r = 0,3 \times h = 180 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

$$\text{Nilai } \frac{k \times l}{r} \leq 22$$

→ pengaruh kelangsingan dapat diabaikan

$$\text{Nilai } \frac{k \times l}{r} > 22$$

→ pengaruh kelangsingan diperhitungkan

$$\frac{k \times l}{r} \leq 22$$

31,11 > 22 maka pengaruh kelangsingan diperhitungkan

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X
Menghitung Nilai P_c (P kritis) pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2}$$

$$= 11.498.673 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$= 275.968.155 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$= 56.564.162 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$= 1,38 \geq 1$$

Maka digunakan nilai $\delta_s = 1,38$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen X:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s}$$

$$= 382.127.271,56 \text{ N.mm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s}$$

$$= 559.041.108,19 \text{ N.mm}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 559.041.108,19 \text{ N.mm}$$

Menentukan Nilai ρ_{perlu} dari Diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang

dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\mu_h = h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}} \\ = 478 \text{ mm}$$

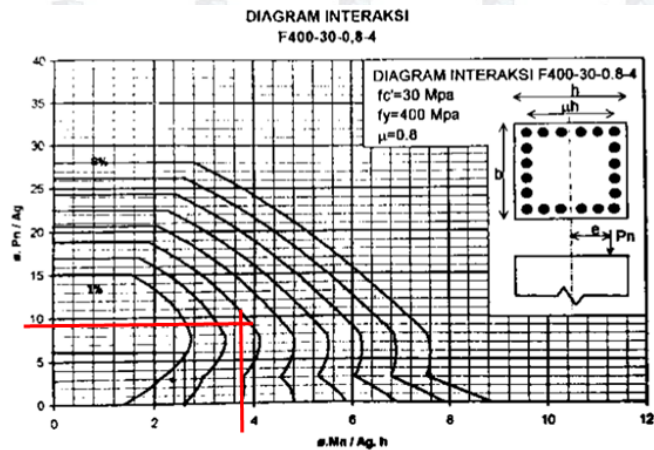
$$\mu = \frac{\mu_h}{h_{\text{kolom}}} \\ = 0,8$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h} \\ = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2} \\ = 3,88 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 144 Diagram Interaksi untuk menentukan

ρ_{perlu}

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 2,5 \% = 0,025$

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ = 6.000 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Lentur

Digunakan tulangan lentur D22

$$\begin{aligned}\text{Luas Tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan D25}} \\ &= 15,78 \text{ buah} \approx 16 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 6.082,1234 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 16D22

Prosentase Tulangan Terpasang

$$\begin{aligned}&= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h} \\ &= 2,5 \% < 8 \% \quad (\text{memenuhi})\end{aligned}$$

Mencari e_{perlu} dan e_{min}

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= 860.063.243,37 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= 3.625.907,85 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_{\text{perlu}} &= \frac{M_n}{P_n} \\ &= 237,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_{\text{min}} &= 15,24 + (0,3 \times h) \\ &= 33,24 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek Kondisi Balance :

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$\begin{aligned}d &= b - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 539 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}}$$

$$= 61 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} - \frac{1}{2} b$$

$$= 139 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= 323,4 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85 \times x_b$$

$$= 274,89 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 2.247.000 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 2.400.000 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.803.878 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.650.878 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1.831.505.188,29 \text{ N.mm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 690,9 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_u / P_u$$

$$= 237,2 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$33,24 \text{ mm} < 237,2 \text{ mm} < 690,91 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 291,1 \text{ mm}$$

$$x = 342,4 \text{ mm}$$

Syarat : $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= 0,001722$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,001722 < 0,002 \text{ (memenuhi)}$$

$$Cc' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.968.812 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_s$$

$$= 2.066.667 \text{ N}$$

$$P = Cc' + Cs' - T$$

$$= 3.149.145 \text{ N}$$

Kontrol :

$$P > P_b$$

$$3.149.145 \text{ N} > 2.650.878 \text{ N (memenuhi)}$$

$$A = 0,85x = 291 \text{ mm}$$

$$M_n = Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'$$

$$= 1.804.473.256,31 \text{ N.mm}$$

Kontrol :

$$M_n \text{ pasang} > M_n$$

$$1.804.473.256,31 > 860.063.243,37 \text{ N.mm}$$

(memenuhi)

Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y

Menghitung Nilai P_c (P kritis) pada Kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI}{k \times L^2} \\ &= 11.498.673 \text{ N} \\ \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 275.968.155 \text{ N} \\ \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 56.564.162 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1 \\ &= 1,38 > 1 \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai $\delta_s = 1,38$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran Momen Y:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \times M_{1s} \\ &= 197.715.089,86 \text{ N.mm} \\ M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \times M_{2s} \\ &= 193.331.219,89 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_1 = 197.715.089,86 \text{ N.mm}$$

Menentukan Nilai ρ_{perlu} dari Diagram Interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu_h &= h - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 478 \text{ mm} \\ \mu &= \frac{\mu_h}{h \text{ kolom}} = 0,8 \end{aligned}$$

Sumbu Vertikal

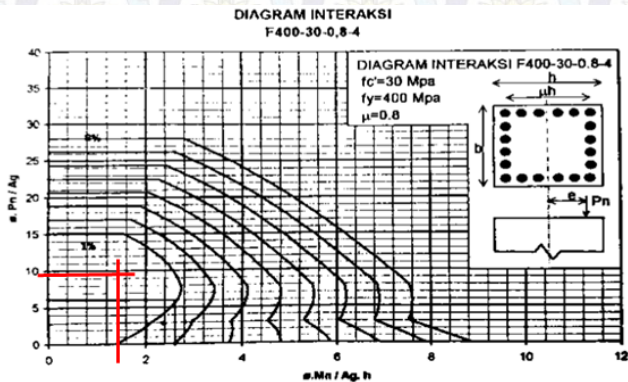
$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \times h}$$

$$= 9,8 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g \times h} = \frac{M_u}{b \times h^2}$$

$$= 1,37 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 4. 145 Diagram Interaksi untuk menentukan ρ_{perlu}

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 0,67 \% = 0,007$

Luas Tulangan Lentur Perlu

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$$

$$= 2.400 \text{ mm}^2$$

Luas Tulangan Lentur

Digunakan tulangan lentur D22

$$\text{Luas Tulangan D22} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Pasang

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{\text{Luas tulangan D25}}$$

$$= 6,31 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}$$

Luasan Tulangan Lentur Pasang

$$A_{s_{pasang}} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 3.041,062 \text{ mm}^2$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 8D22

Prosentase Tulangan Terpasang

$$= \frac{A_{s_{pasang}}}{\frac{b \times h}{4}} \quad (\text{memenuhi})$$

$$= 1,00 \% < 8 \%$$

Mencari e_{perlu} dan e_{min}

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= 304.177.061,32 \text{ N.mm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}$$

$$= 3.625.907,85 \text{ N}$$

$$e_{perlu} = \frac{M_n}{P_n}$$

$$= 83,9 \text{ mm}$$

$$e_{min} = 15,24 + (0,3 \times h)$$

$$= 33,24 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance :

Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = b - \text{decking} - \phi_{sengkan} - \frac{1}{2} \phi_{lentur}$$

$$= 539 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \phi_{sengkan} + \frac{1}{2} \phi_{lentur}$$

$$= 61 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \phi_{sengkan} - \frac{1}{2} \phi_{lentur} - \frac{1}{2} b$$

$$= 139 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= 323,4 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \times x_b$$

$$= 274,89 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \times f_c')$$

$$= 898.800 \text{ N}$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 960.000 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b$$

$$= 2.803.878 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2.742.678 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= 1.174.305.388,29 \text{ N.mm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 428,2 \text{ mm}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_u / P_u$$

$$= 83,89 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_b \quad (\text{kondisi tarik menentukan})$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$33,24 \text{ mm} < 83,9 \text{ mm} < 428,16 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Mencari nilai x

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85x = 291,1 \text{ mm}$$

$$x = 342,4 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= 0,001722$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \times 600$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &< \varepsilon_y \\ 0,00172 &< 0,002 \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x_b \\ &= 2.968.812 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \times f_y \\ &= 826.667 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= Cc' + Cs' - T \\ &= 3.040.945,33 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}P &> P_b \\ 3.040.945,33 \text{ N} &> 2.742.678 \text{ N} \text{ (**memenuhi**)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 1.632.113.256,31 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}M_n \text{ pasang} &> M_n \\ 1.632.113.256,31 \text{ N.mm} &> 304.177.061,32 \text{ N.mm} \\ \text{(**memenuhi**)}\end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu 16D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut :

Prosentase tulangan terpasang :

$$A_{s\text{pasang}} = 16 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) = 3.801,3271 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} < S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{geser}) - (n \cdot \text{lentur})}{n - 1}$$

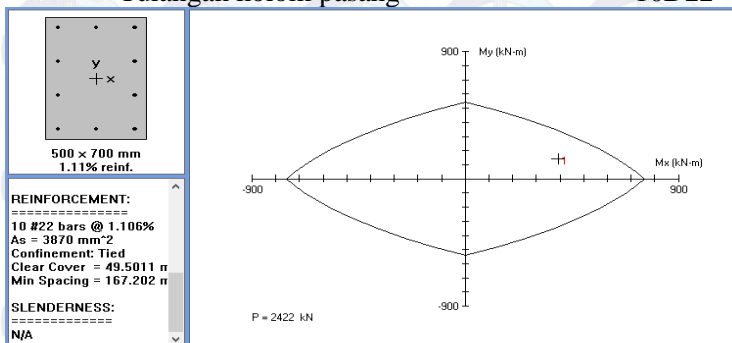
$$= 89 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan lentur disusun 1 lapis.

Cek dengan Program PCAColonn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan dalam analisis PCAColonn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	= 400 MPa
Modulus elastisitas	= 25.743 MPa
β_1	= 0,85
b kolom	= 500 mm
h kolom	= 700 mm
Mux (M3 terbesar dari kombinasi SAP)	= 390,6 kNm
Muy (M2 terbesar dari kombinasi SAP)	= 143,1 kNm
Pu (kombinasi ultimate)	= 2.421,9 kN
Tulangan kolom pasang	= 10D22



Gambar 4. 146 Cek dengan program PCAColonn

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	2421.9	390.6	143.1	565.8	207.2	1.449

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4. 147 Hasil perhitungan program PCAColomn

Berdasarkan output PCAColomn

$M_{ux} = 391 \text{ kNm} < M_{nx} = 566 \text{ kNm}$

$M_{uy} = 143 \text{ kNm} < M_{ny} = 207 \text{ kNm}$

Maka kolom dipasang tulangan 10D22

b. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

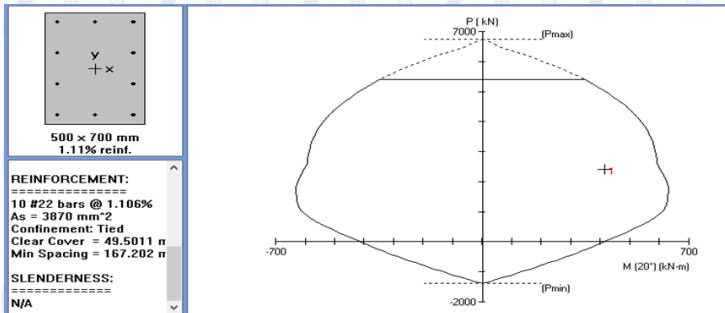
Data Perencanaan :

Lebar Kolom (b_{kolom})	= 500 mm
Tinggi Kolom (h_{kolom})	= 700 mm
Tebal Selimut Beton	= 40 mm
Tinggi Kolom	= 4000 mm
Mutu Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tulangan Lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tulangan Geser (f_{yv})	= 240 MPa
Diameter Tulangan Lentur	= 22 mm
Diameter Tulangan Geser	= 10 mm
Faktor Reduksi	= 0,85
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2(3)]	

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom sebagai berikut :

$$P_u = (1,2 D + 1,6 L) \\ = 2.421.952 \text{ N}$$

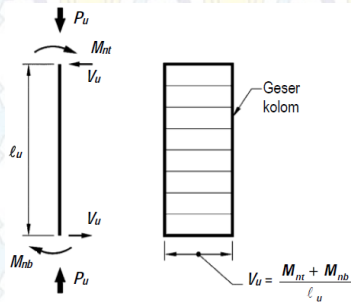
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCAColomn sebagai berikut:



Gambar 4. 148 Output program PCAColumn

$$M_{nt} = 638.000.000 \text{ N.mm}$$

$$M_{nb} = 638.000.000 \text{ N.mm}$$

Gambar 4. 149 Geser Desain untuk rangka momen menengah
SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

M_{nt} = momen nominal atas kolom

M_{nb} = momen nominal bawah kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u}$$

$$= 425.333 \text{ N}$$

Momen Kapasitas Balok:

Tabel 4. 20 Rekap Analisis Penampang Bertulangan Tunggal

Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Jumlah	As (mm ²)	Lapis	d (mm)	a (mm)
22	380,13	8	3.041,062	2	640	95,41
22	380,13	3	1.140,398	1	640	35,78

Akibat gempa kiri

$$Mn_1 = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 720.484.773 \text{ N.mm}$$

$$Mn_2 = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 292.905.057,6 \text{ N.mm}$$

Akibat gempa kanan

$$Mn_1 = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 720,48 \text{ kN.m}$$

$$Mn_2 = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 292,91 \text{ kN.m}$$

Mn sama karena tulangan yang dipasang sama

$$V_s = \frac{2 \times ((Mn_1 + Mn_2) \times DF)}{L_u} = 253,35 \text{ kN}$$

$$Df_{top} = Df_{bottom} = 0,5$$

Lalu, dibandingkan dengan output Vu kolom pada SAP:

Resultant Shear



Gambar 4. 150 Output Vu kolom pada SAP

Output SAP didapat $V_u = 253,35 \text{ kN}$

Maka digunakan V_u terbesar, yakni $425,33 \text{ kN}$

Cek Kebutuhan Penulangan Geser :

$$\frac{V_u}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$$

$$571,1 \text{ kN} > 143,78 \text{ kN}$$

Maka kolom perlu dipasang tulangan geser

Cek Tulangan Geser Minimum:

$$\frac{V_u}{\phi} > V_c + \frac{1}{3} b_w x d$$

$$567,1 \text{ kN} > 404,22101 \text{ kN}$$

Maka dipasang tulangan geser sebesar As perlu

$$V_s = V_u - V_c = 137,78 \text{ kN}$$

Kebutuhan spasi tulangan:

$$S = \frac{A_v x f_y x d}{V_s} = 319,224 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser Ø10 dengan n kaki = 2

$$A_{v_{\text{pakai}}} = 0,25 \times \pi \times \phi^2 \times n \text{ kaki} \\ = 157,08 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak 300 mm, lalu di cek dengan persyaratan sebagai berikut:

a. $16d_{\text{lentur}} = 352 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$
(memenuhi)

b. $48d_{\text{geser}} = 480 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$
(memenuhi)

c. $d/2 = 350 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$
(memenuhi)

d. $s = 600 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$
(memenuhi)

Cek $S_{\text{pakai}} < S_{\text{perlu}}$
 $300 \text{ mm} < 232,8 \text{ mm}$ (memenuhi)

Maka, untuk tulangan geser dipasang sengkang Ø10-300 mm

Cek Syarat SRPMM

SNI Beton pasal 21.3.5.2 tentang jarak lo dari muka kolom, tidak kurang dari:

$$1/6 l_u = 566,67 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$l = 450 \text{ mm}$$

Maka dipilih lo sebesar 700 mm

Jarak sengkang rentang l_0 tidak boleh lebih dari:

- $8d_{\text{lentur}} = 176 \text{ mm}$
- $24d_{\text{geser}} = 240 \text{ mm}$
- $bw/2 = 250 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Maka dipilih jarak sengkang maksimum 176 mm
Sehingga, dipasang sengkang sebesar 150 mm

Kebutuhan tulangan:

$$A_v = \frac{bw \times s}{3 \times f_y} = 62,5 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\emptyset 10$ dengan n kaki = 2

$$A_{v\text{pakai}} = 0,25 \times \pi \times \emptyset^2 \times n \text{ kaki} \\ = 157,08 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Cek} & A_{v\text{pakai}} < A_{v\text{perlu}} \\ & 157,08 \text{ mm} < 62,5 \text{ mm} \text{ (memenuhi)} \end{array}$$

Maka, untuk tulangan geser dipasang sengkang $\emptyset 10$ -150 mm

4.5.4 Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times db$, untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times db \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ MPa} \times 22 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

$$625 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)}$$

4.5.5 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2, panjang penyaluran untuk tulangan D22 harus ditentukan menggunakan persamaan :

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{fy \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c'}} \right)$$

Keterangan :

Ψ_t = Bila tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan, $\Psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\Psi_t = 1,0$.

Ψ_e = Untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\Psi_t = 1,5$. Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\Psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (di galvanis), $\Psi_t = 1,0$. Akan tetapi, hasil $\Psi_t \Psi_e$ tidak perlu lebih besar dari 1,7

λ = Bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi 0,75 kecuali jika f'_{ct} ditetapkan. Bila berat beton normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

Maka,

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{400.1.1}{1,7.1.\sqrt{30}} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = 945,09$$


$$ld \approx 945 \text{ mm}$$

4.5.6 Rekap Penulangan Kolom

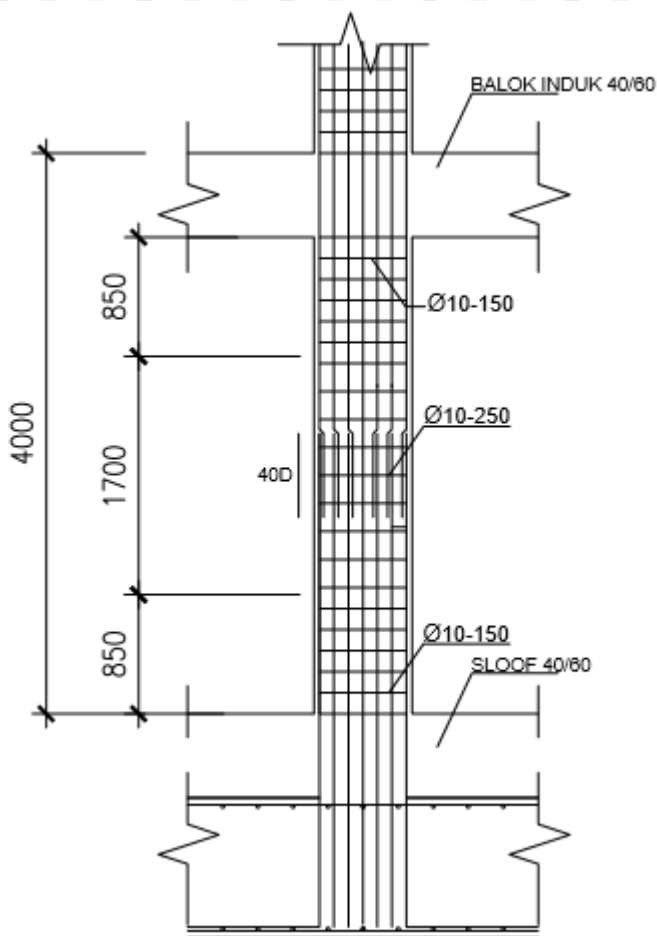
Tabel 4. 21 Rekap Penulangan Kolom

KOMBINASI	LENTUR		GESER			
			TUMPUAN		LAPANGAN	
	N	D	Ø	S	Ø	S
1,2D + 1,6L	8	22	10	150	10	250
1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey	16	22	10	150	10	250
1,2D + 1L + 0,3Ex + 1Ey	16	22	10	150	10	250

Maka untuk penulangan diambil tulangan dari hasil kombinasi terbesar, yaitu penulangan dari kombinasi 1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey

TIPE KOLOM	KOLOM		
	400 X 600		
POTONGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
			
TULANGAN UTAMA	16 D22	16 D22	16 D22
SENGKANG	10 - 150	10 - 250	10 - 150
SELIMUT BETON	40 mm	40 mm	40 mm

Gambar 4. 151 Penulangan Kolom



Gambar 4. 152 Detail Penulangan Kolom

*

4.6 Perhitungan Volume Pembesian

Berikut ini akan dibahas perhitungan volume pembesian melintang dan memanjang. Perhitungan volume ini digolongkan berdasarkan dimensi struktur, dan diameter tulangan yang digunakan. Data yang dibutuhkan antara lain bentang bersih, panjang tekuk dan overstek yang sesuai dengan *shopdrawing*

Hasil akhirnya yakni berupa panjang tulangan yang digunakan, jumlah lonjor dan berat besi per diameter. Lalu, dibandingkan juga dengan volume cor sesuai dimensi masing-masing.

4.6.1 Perhitungan Volume Pembesian Balok

Didapatkan hasil perhitungan pembesian balok melintang sebagai berikut:

1. Panjang penulangan per diameter
 - Panjang D22 : 463 m
 - Panjang D16 : 96 m
 - Panjang D10 : 741 m
2. Jumlah lonjor tulangan yang dibutuhkan
 - Lonjor D22 : 39 lonjor
 - Lonjor D16 : 8 lonjor
 - Lonjor D10 : 62 lonjor
3. Berat besi yang dibutuhkan
 - Berat D22 : 2.477 kg
 - Berat D16 : 297 kg
 - Berat D10 : 753 kg

Total berat besi yang dibutuhkan yakni sebesar 3.527 kg, atau 3,53 ton.

**

	Type Balok				n	1			Jumlah tumpuan			Panjang potongan (m)			Panjang tul (per m)			Panjang over stek (m)				Total (m)			22	16	10							
						l	t	Ln	Tump	Lap	Tump	Tump	Lap	Tump	Tump	Lap	Tump	Tump	Lp	Tump	Over	22	16	10	2,985	1,578	0,617							
SLOOF B-C	DIA																																	
	22	400	x	600				0,40	0,60	4,7	4	2	4	1,18	2,35	1,18	4,70	4,70	4,70	1,06	1,06	1,06	1,32	18,6			55,49							
	22										4	2	4	1,18	2,35	1,18	4,70	4,70	4,70	1,06	1,06	1,06	1,32	18,6			55,49							
	16										2	2	2	1,18	2,35	1,18	2,35	4,70	2,35						9,9			15,59		39,15				
SLOOF C-D	10-120	10-150	10-120								10	16	10	1,80	1,80	1,80	17,63	28,20	17,63							63,5								
	22	400	x	600				0,40	0,60	7,55	4	2	4	1,89	3,78	1,89	7,55	7,55	7,55	1,06	1,06	1,06	1,32	27,1			81,01							
	22										4	2	4	1,89	3,78	1,89	7,55	7,55	7,55	1,06	1,06	1,06	1,32	27,1			81,01							
	16										2	2	2	1,89	3,78	1,89	3,78	7,55	3,78						15,6				24,59		62,89			
BALOK B-C12	10-120	10-150	10-120								16	25	16	1,80	1,80	1,80	28,31	45,30	28,31							101,9								
	22	400	x	600				0,40	0,60	4,7	8	2	8	1,18	2,35	1,18	9,40	4,70	9,40	2,11	1,06	2,11	2,64	31,4			93,79							
	22										3	3	3	1,18	2,35	1,18	3,53	7,05	3,53	0,79	1,58	0,79	0,99	18,3			54,50							
	16										2	2	2	1,18	2,35	1,18	2,35	4,70	2,35						9,9			15,59		39,15				
BALOK C-D12	10-120	10-150	10-120								10	16	10	1,80	1,80	1,80	17,63	28,20	17,63							63,5								
	22	400	x	600				0,40	0,60	7,55	8	2	8	1,89	3,78	1,89	15,10	7,55	15,10	2,11	1,06	2,11	2,64	45,7			136,32							
	22										3	3	3	1,89	3,78	1,89	5,66	11,33	5,66	0,79	1,58	0,79	0,99	26,8			80,02							
	16										2	2	2	1,89	3,78	1,89	3,78	7,55	3,78						15,6				24,59		62,89			
BALOK B-C L3-6	10-120	10-150	10-120								16	25	16	1,80	1,80	1,80	28,31	45,30	28,31							101,9								
	22	400	x	600				0,40	0,60	4,7	8	2	8	1,18	2,35	1,18	9,40	4,70	9,40	2,11	1,06	2,11	2,64	31,4			375,15							
	22										3	3	3	1,18	2,35	1,18	3,53	7,05	3,53	0,79	1,58	0,79	0,99	18,3			218,00							
	16										2	2	2	1,18	2,35	1,18	2,35	4,70	2,35						9,9			62,36		156,59				
BALOK C-D L3-6	10-120	10-150	10-120								10	16	10	1,80	1,80	1,80	17,63	28,20	17,63							63,5								
	22	400	x	600				0,40	0,60	7,55	8	2	8	1,89	3,78	1,89	15,10	7,55	15,10	2,11	1,06	2,11	2,64	45,7			545,30							
	22										3	3	3	1,89	3,78	1,89	5,66	11,33	5,66	0,79	1,58	0,79	0,99	26,8			320,09							
	16										2	2	2	1,89	3,78	1,89	3,78	7,55	3,78						15,6			98,34		251,55				
BALOK ATAP B-C	10-120	10-150	10-120								16	25	16	1,80	1,80	1,80	28,31	45,30	28,31							101,9								
	22	400	x	600				0,40	0,60	4,7	4	2	4	1,18	2,35	1,18	4,70	4,70	4,70	1,06	1,06	1,06	1,32	18,6			55,49							
	22										3	3	3	1,18	2,35	1,18	3,53	7,05	3,53	0,79	1,58	0,79	0,99	18,3			54,50							
	16										2	2	2	1,18	2,35	1,18	2,35	4,70	2,35						9,9			15,59		39,15				
BALOK ATAP C-D	10-120	10-150	10-120								10	16	10	1,80	1,80	1,80	17,63	28,20	17,63							63,5								
	22	400	x	600				0,40	0,60	7,55	4	2	4	1,89	3,78	1,89	7,55	7,55	7,55	1,06	1,06	1,06	1,32	27,1			81,01							
	22										3	3	3	1,89	3,78	1,89	5,66	11,33	5,66	0,79	1,58	0,79	0,99	26,8			80,02							
	16										2	2	2	1,89	3,78	1,89	3,78	7,55	3,78						15,6			24,59		62,89				
BALOK ATAP R. LIFT	10-120	10-150	10-120								16	25	16	1,80	1,80	1,80	28,31	45,30	28,31							101,9								
	22	400	x	600				0,40	0,60	4,7	4	2	4	1,18	2,35	1,18	4,70	4,70	4,70	1,06	1,06	1,06	1,32	18,6			55,49							
	22										3	3	3	1,18	2,35	1,18	3,53	7,05	3,53	0,79	1,58	0,79	0,99	18,3			54,50							
	16										2	2	2	1,18	2,35	1,18	2,35	4,70	2,35						9,9			15,59		39,15				
TOTAL																																		
463,4 m 96,1 m 740,5 m 2477,2 kgr 296,8 kgr 753,4 kgr																																		

Gambar 4. 153 Perhitungan Pembesian Balok Portal Melintang

Tabel 4. 22 Rekapitulasi Rasio Pembesian Balok Portal Melintang

Lantai	Tipe	Dimensi		Bentang (m)	Vol Cor (m ³)	Berat tul (kg)	Rasio (kg)
		b (m)	h (m)				
1	Sloof	0,4	0,6	12,25	2,94	415	141,2 kg
2	BI	0,4	0,6	12,25	2,94	507	172,4 kg
3	BI	0,4	0,6	12,25	2,94	507	172,4 kg
4	BI	0,4	0,6	12,25	2,94	507	172,4 kg
5	BI	0,4	0,6	12,25	2,94	507	172,4 kg
6	BI	0,4	0,6	12,25	2,94	507	172,4 kg
Atap	BI	0,4	0,6	12,25	2,94	413	140,6 kg
R. Lift	BI	0,4	0,6	4,7	1,13	165	146,0 kg

Sedangkan hasil perhitungan pembesian balok memanjang adalah sebagai berikut:

1. Panjang penulangan per diameter
 - Panjang D22 : 649 m
 - Panjang D16 : 155 m
 - Panjang D10 : 1.001 m
2. Jumlah lonjor tulangan yang dibutuhkan
 - Lonjor D22 : 54 lonjor
 - Lonjor D16 : 13 lonjor
 - Lonjor D10 : 83 lonjor
4. Berat besi yang dibutuhkan
 - Berat D22 : 8.649 kg
 - Berat D16 : 1.037 kg
 - Berat D10 : 2.637 kg

Total berat besi yang dibutuhkan yakni sebesar 12.323 kg, atau 12,32 ton.

	Type Balok				n	Panjalah utangan				Panjalah potongan (m)				Panjalah tul (per m)				Panjalah over stak (m)				Total (m)				22	16	10	Berat (kg)																						
	1	t	Ln	Tump.		Lap	Tump.	1	Lap	Tump.	1	Lap	Tump.	1	Lap	Tump.	1	Lap	Tump.	1	Lap	Tump.	1	Lap	Tump.																										
SLOOF 2-3	DIA	22	400	x	600	1	0,40	0,60	5	4	2	4	1,25	2,50	1,25	5,00	5,00	5,00	1,06	1,06	1,06	1,32	19,5		58,17	174,53																									
	22				4		2	4	4	2	4	1,25	2,50	1,25	5,00	5,00	5,00	1,06	1,06	1,06	1,32	19,5		58,17																											
	16				2		2	2	2	2	2	1,25	2,50	1,25	2,50	2,50	2,50																																		
	10	10-120	10-150	10-120	10		17	10	1,80	1,80	1,80	18,75	30,00	18,75				0,48				10,5	67,5	16,54	41,65																										
SLOOF 3-7 8-9	22	400	x	600	5	0,40	0,60	7	4	2	4	1,75	3,50	1,75	7,00	7,00	7,00	1,06	1,06	1,06	1,32	25,5		380,41	1166,60																										
	22					4	2	4	4	2	4	1,75	3,50	1,75	7,00	7,00	7,00	1,06	1,06	1,06	1,32	25,5		380,41																											
	16					2	2	2	2	2	2	1,75	3,50	1,75	3,50	7,00	3,50																																		
	10	10-120	10-150	10-120		15	23	15	1,80	1,80	1,80	26,25	42,00	26,25				0,48				14,5	94,5	114,25	291,53																										
SLOOF 7-8	22	400	x	600	1	0,40	0,60	3,5	4	2	4	0,88	1,75	0,88	3,50	3,50	3,50	1,06	1,06	1,06	1,32	15,0		44,74	130,44																										
	22					4	2	4	0,88	1,75	0,88	3,50	3,50	3,50				1,06	1,06	1,06	1,32	15,0		44,74																											
	16					2	2	2	0,88	1,75	0,88	1,75	3,50	1,75																																					
	10	10-120	10-150	10-120		7	12	7	1,80	1,80	1,80	13,13	21,00	13,13				0,48				7,5	47,3	11,80	29,15																										
BALOK 2-3 LT 2	22	400	x	600	1	0,40	0,60	5	8	2	8	1,25	2,50	1,25	10,00	5,00	10,00	2,11	1,06	2,11	2,64	32,9		98,27	213,64																										
	22					3	3	3	1,25	2,50	1,25	3,75	7,50	3,75				0,79	1,58	0,79	0,99	19,2		57,19																											
	16					2	2	2	1,25	2,50	1,25	2,50	5,00	2,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		10	17	10	1,80	1,80	1,80	18,75	30,00	18,75				0,48				10,5	67,5	16,54	41,65																										
BALOK 8-9 LT 2	22	400	x	600	5	0,40	0,60	7	8	2	8	1,75	3,50	1,75	14,00	7,00	14,00	2,11	1,06	2,11	2,64	42,9		640,58	1421,84																										
	22					3	3	3	1,75	3,50	1,75	5,25	10,50	5,25				0,79	1,58	0,79	0,99	25,2		375,48																											
	16					2	2	2	1,75	3,50	1,75	3,50	7,00	3,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		15	23	15	1,80	1,80	1,80	26,25	42,00	26,25				0,48				14,5	94,5	114,25	291,53																										
BALOK 7-8 LT 2	22	400	x	600	1	0,40	0,60	3,5	8	2	8	0,88	1,75	0,88	7,00	3,50	7,00	2,11	1,06	2,11	2,64	25,4		75,88	160,59																										
	22					3	3	3	0,88	1,75	0,88	2,63	5,25	2,63				0,79	1,58	0,79	0,99	14,7		43,75																											
	16					2	2	2	0,88	1,75	0,88	1,75	3,50	1,75																																					
	10	10-120	10-150	10-120		7	12	7	1,80	1,80	1,80	13,13	21,00	13,13				0,48				7,5	47,3	11,80	29,15																										
BALOK 2-3 LT 3-5	22	400	x	600	4	0,40	0,60	5	8	2	8	1,25	2,50	1,25	10,00	5,00	10,00	2,11	1,06	2,11	2,64	32,9		393,06	854,55																										
	22					3	3	3	1,25	2,50	1,25	3,75	7,50	3,75				0,79	1,58	0,79	0,99	19,2		228,75																											
	16					2	2	2	1,25	2,50	1,25	2,50	5,00	2,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		10	17	10	1,80	1,80	1,80	18,75	30,00	18,75				0,48				10,5	67,5	16,54	41,65																										
BALOK 3-7 8-9 LT 3-5	22	400	x	600	20	0,40	0,60	7	8	2	8	1,75	3,50	1,75	14,00	7,00	14,00	2,11	1,06	2,11	2,64	42,9		2560,32	5687,38																										
	22					3	3	3	1,75	3,50	1,75	5,25	10,50	5,25				0,79	1,58	0,79	0,99	25,2		1501,93																											
	16					2	2	2	1,75	3,50	1,75	3,50	7,00	3,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		15	23	15	1,80	1,80	1,80	26,25	42,00	26,25				0,48				14,5	94,5	114,25	291,53																										
BALOK 7-8 LT 3-6	22	400	x	600	4	0,40	0,60	3,5	8	2	8	0,88	1,75	0,88	7,00	3,50	7,00	2,11	1,06	2,11	2,64	25,4		303,51	642,36																										
	22					3	3	3	0,88	1,75	0,88	2,63	5,25	2,63				0,79	1,58	0,79	0,99	14,7		175,02																											
	16					2	2	2	0,88	1,75	0,88	1,75	3,50	1,75																																					
	10	10-120	10-150	10-120		7	12	7	1,80	1,80	1,80	13,13	21,00	13,13				0,48				7,5	47,3	11,80	29,15																										
BALOK 2-3 LT 1	22	400	x	600	1	0,40	0,60	5	4	2	4	1,25	2,50	1,25	5,00	5,00	5,00	1,06	1,06	1,06	1,32	19,5		58,17	173,54																										
	22					3	3	3	1,25	2,50	1,25	3,75	7,50	3,75				0,79	1,58	0,79	0,99	19,2		57,19																											
	16					2	2	2	1,25	2,50	1,25	2,50	5,00	2,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		10	17	10	1,80	1,80	1,80	18,75	30,00	18,75				0,48				10,5	67,5	16,54	41,65																										
BALOK 8-9 LT 1	22	400	x	600	5	0,40	0,60	7	4	2	4	1,75	3,50	1,75	7,00	7,00	7,00	1,06	1,06	1,06	1,32	25,5		380,41	1161,67																										
	22					3	3	3	1,75	3,50	1,75	5,25	10,50	5,25				0,79	1,58	0,79	0,99	25,2		375,48																											
	16					2	2	2	1,75	3,50	1,75	3,50	7,00	3,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		15	23	15	1,80	1,80	1,80	26,25	42,00	26,25				0,48				14,5	94,5	114,25	291,53																										
BALOK 7-8 LT 1	22	400	x	600	1	0,40	0,60	3,5	4	2	4	0,88	1,75	0,88	3,50	3,50	3,50	1,06	1,06	1,06	1,32	15,0		44,74	130,33																										
	22					3	3	3	0,88	1,75	0,88	2,63	5,25	2,63				0,79	1,58	0,79	0,99	14,7		43,75																											
	16					2	2	2	0,88	1,75	0,88	1,75	3,50	1,75																																					
	10	10-120	10-150	10-120		7	12	7	1,80	1,80	1,80	13,13	21,00	13,13				0,48				7,5	47,3	11,80	29,15																										
BALOK ATAP R. LIFT	22	400	x	600	1	0,40	0,60	5	4	2	4	1,25	2,50	1,25	5,00	5,00	5,00	1,06	1,06	1,06	1,32	19,5		58,17	173,54																										
	22					3	3	3	1,25	2,50	1,25	3,75	7,50	3,75				0,79	1,58	0,79	0,99	19,2		57,19																											
	16					2	2	2	1,25	2,50	1,25	2,50	5,00	2,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120		10	17	10	1,80	1,80	1,80	18,75	30,00	18,75				0,48				10,5	67,5	16,54	41,65																										
BALOK ATAP R. LIFT	22	400	x	600	1	0,40	0,60	7	4	2	4	1,75	3,50	1,75	7,00	7,00	7,00	1,06	1,06	1,06	1,32	25,5		380,41	232,33																										
	22					3	3	3	1,75	3,50	1,75	5,25	10,50	5,25				0,79	1,58	0,79	0,99	25,2		375,48																											
	16					2	2	2	1,75	3,50	1,75	3,50	7,00	3,50																																					
	10	10-120	10-150	10-120	15	23	15	1,80	1,80	1,80	26,25	42,00	26,25				0,48				14,5	94,5	114,25	291,53																											
TOTAL																										548,00	154,00	108,00	3568,00	1087,00	767,00	108,00	3568,00	1087,00	767,00	108,00	3568,00	1087,00	767,00	108,00	3568,00	1087,00	767,00	108,00	3568,00	1087,00	767,00	108,00	3568,00	1087,00	767,00

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Rasio Pembesian Balok Portal Memanjang

Lantai	Tipe	Dimensi		Bentang (m)	Vol Cor (m ³)	Berat tul (kg)	Rasio (kg)
		b (m)	h (m)				
1	Sloof	0,4	0,6	43,35	10,404	1472	141,4 kg
2	BI	0,4	0,6	43,35	10,404	1796	172,6 kg
3	BI	0,4	0,6	43,35	10,404	1796	172,6 kg
4	BI	0,4	0,6	43,35	10,404	1796	172,6 kg
5	BI	0,4	0,6	43,35	10,404	1796	172,6 kg
6	BI	0,4	0,6	43,35	10,404	1796	172,6 kg
Atap	BI	0,4	0,6	43,35	10,404	1466	140,9 kg
R. Lift	BI	0,4	0,6	12	2,88	406	140,9 kg

4.6.2 Perhitungan Volume Pembesian Kolom

Didapatkan hasil perhitungan pembesian kolom melintang sebagai berikut:

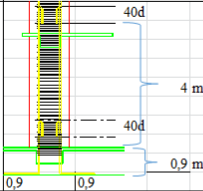
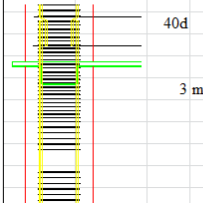
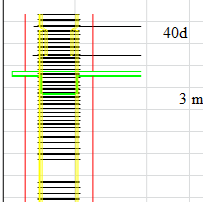
1. Panjang penulangan per diameter
 - Panjang D22 : 1.483 m
 - Panjang D10 : 751 m
2. Jumlah lonjor tulangan yang dibutuhkan
 - Lonjor D22 : 63 lonjor
 - Lonjor D10 : 124 lonjor
5. Berat besi yang dibutuhkan
 - Berat D22 : 4.427 kg
 - Berat D10 : 463 kg

Total berat besi yang dibutuhkan yakni sebesar 4.891 kg, atau 4,891 ton.




Sedangkan hasil perhitungan pembesian kolom memanjang adalah sebagai berikut:

1. Panjang penulangan per diameter
 - Panjang D22 : 3.830 m
 - Panjang D10 : 1.932 m
2. Jumlah lonjor tulangan yang dibutuhkan
 - Lonjor D22 : 319 lonjor
 - Lonjor D10 : 161 lonjor
6. Berat besi yang dibutuhkan
 - Berat D22 : 11.432 kg
 - Berat D10 : 1.192 kg


Total berat besi yang dibutuhkan yakni sebesar 12.624 kg, atau 12,62 ton.

Tipe Kolom	Sketsa	n	Dimensi		Rebar	Senggang			Rebar	Senggang				Panjang Besi		Berat Besi		
			b (m)	h (m)		d	Turn	Lap		Panjang (m)	Panjang (m)	Jml. Tump	Jml. Lap	Pnjj. Tump (m)	Pnjj. Lap (m)	D10	D22	D10
LT 1		3	0,4	0,6	16'D 22	10	10-150	10-250	121	2	15	9	28	16	131	364	81	1086
LT 2		3	0,4	0,6	16'D 22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	103	186	63	556
LT 3		3	0,4	0,6	16'D 22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	103	186	63	556

Gambar 4. 155 Perhitungan Pembesian Kolom Portal Melintang-I

Tipe Kolom	Sketsa	n	Dimensi		Rebar		Senggang		Rebar Panjang (m)	Senggang				Panjang Besi		Berat Besi			
			b (m)	h (m)			d	Tum		Lap	Panjang (m)	Jml. Tum	Jml. Lap	Pnrg. Tum (m)	Pnrg. Lap (m)	D10	D22	D10	D22
LT 4		3	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	103	186	63	556
LT 5		3	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	103	186	63	556
LT 6		3	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	103	186	63	556

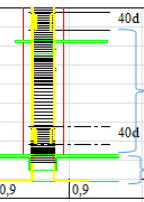


Gambar 4. 156 Perhitungan Pembesian Kolom Portal Melintang-II

Tipe Kolom	Sketsa	n	Dimensi		Rebar		Sengkang			Rebar		Sengkang				Panjang Besi		Berat Besi	
			b (m)	h (m)						Panjang (m)	Panjang (m)	Jml. Tump	Jml. Lap	Pnjg. Tump (m)	Pnjg. Lap (m)	D10	D22	D10	D22
LT R.LIFT		2	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	94	2	19	11	34	20	107	188	66	562
TOTAL															751	1483	463	4427	
															m	m	kg	kg	



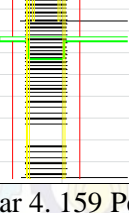
Gambar 4. 157 Perhitungan Pembesian Kolom Portal Melintang-III

Tabel 4. 24 Rekapitulasi Rasio Pembesian Kolom Portal Melintang

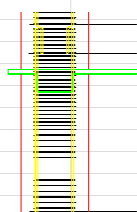
Lantai	Dimensi (m)		Ln (m)	Vol cor (m3)	Berat tul (kg)	rasio (kg/m3)
1	0,4	0,6	4	2,88	1167	405,3
2	0,4	0,6	3	2,16	619	286,7
3	0,4	0,6	3	2,16	619	286,7
4	0,4	0,6	3	2,16	619	286,7
5	0,4	0,6	3	2,16	619	286,7
6	0,4	0,6	3	2,16	619	286,7
Lt.R.Lift	0,4	0,6	5	2,4	628	261,5

Tipe Kolom	Sketsa	n	Dimensi		Rebar		Sengkang			Rebar Panjang (m)	Sengkang					Panjang Besi		Berat Besi	
			b (m)	h (m)							Panjang (m)	Jml. Tump	Jml. Lap	Pnjg. Tump (m)	Pnjg. Lap (m)	D10	D22	D10	D22
K1 LT1		8	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	121	2	15	9	28	16	350	970	216	2896
K1 LT2		8	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	274	497	169	1482
K2 LT3		8	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	274	497	169	1482

Gambar 4. 158 Perhitungan Pembesian Kolom Portal Memanjang-I

Tipe Kolom	Sketsa	n	Dimensi		Rebar		Sengkang			Rebar Panjang (m)	Sengkang					Panjang Besi		Berat Besi	
			b (m)	h (m)							Panjang (m)	Jml. Tump	Jml. Lap	Pnjjg. Tump (m)	Pnjjg. Lap (m)	D10	D22	D10	D22
K2 LT4		8	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	274	497	169	1482
K2 LT5		8	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	274	497	169	1482
K2 LT6		8	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	62	2	12	7	22	13	274	497	169	1482

Gambar 4. 159 Perhitungan Pembesian Kolom Portal Memanjang-II

Tipe Kolom	Sketsa	n	Dimensi		Rebar	Senggang			Rebar	Senggang					Panjang Besi		Berat Besi		
			b (m)	h (m)		d	Tum	Lap		Panjang (m)	Jml. Tump	Jml. Lap	Pnjg. Tump (m)	Pnjg. Lap (m)	D10	D22	D10	D22	
K2 LT R.LIFT		4	0,4	0,6	16 D	22	10	10-150	10-250	94	2	19	11	34	20	214	376	132	1123

Gambar 4. 160 Perhitungan Pembesian Kolom Portal Memanjang-III

Tabel 4. 25 Rekapitulasi Rasio Pembesian Kolom Portal Memanjang

Lantai	Dimensi (m)		Ln (m)	Vol cor (m3)	Berat tul (kg)	rasio (kg/m3)
1	0,4	0,6	4	7,68	3112	405,3
2	0,4	0,6	3	5,76	1651	286,7
3	0,4	0,6	3	5,76	1651	286,7
4	0,4	0,6	3	5,76	1651	286,7
5	0,4	0,6	3	5,76	1651	286,7
6	0,4	0,6	3	5,76	1651	286,7
Lt.R.Lift	0,4	0,6	5	4,8	1255	261,5

4.6.3 Perhitungan Volume Pembesian Pelat

Didapatkan hasil perhitungan pembesian pelat melintang sebagai berikut:

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X									
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)					
2	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	1,54	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	3,93	84	330,12	10	150	7 m	84	588,00					
		banyaknya 12 buah																				
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	60	175,56	10	200	5 m	60	282,78					
		banyaknya 9 buah																				
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,39	10	23,42	12	150	4 m	13	45,73						
	banyaknya 1 buah																					
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y										
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)						
TIPE 1	7 m	x	1,88 m	0,41	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	0,85	840	710,22	12	100	1,88 m	840	1575,00						
	banyaknya 12 buah																					
TIPE 2	5 m	x	2,39 m	0,53	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	0,95	212	200,98	10	200	2,39 m	211,5	504,96						
	banyaknya 9 buah																					
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	1,20	23	28,07	12	150	3,50 m	23,33333	81,67						
	banyaknya 1 buah																					
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)						
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	10	12	10	12					
TIPE 1	7 m	x	1,88 m											918,12	2285,22	566,48	2376,63					
	banyaknya 12 buah																					
TIPE 2	5 m	x	2,39 m											1164,27		718,36						
	banyaknya 9 buah																					
TIPE 3	4 m	x	3,50 m											23,42	155,47	14,45	161,69					
	banyaknya 1 buah																					
				TOTAL TULANGAN (m)					2105,81					2440,69		1299,29		2538,32				
				BATANG					176					204								
				TOTAL (KG)					1299,29					2538,32								

Gambar 4. 161 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Melintang Lantai 2

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X						
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)		
3	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	1,54	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	3,93	84	330,12	10	150	7 m	84	588,00		
		banyaknya 12 buah																	
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	60	175,56	10	200	5 m	60	282,78		
		banyaknya 9 buah																	
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,39	10	23,42	12	150	4 m	13	45,73			
	banyaknya 1 buah																		
	As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y						
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)		
	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	0,41	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	0,85	840	710,22	12	100	1,88 m	840	1575,00		
		banyaknya 12 buah																	
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	0,53	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	0,95	212	200,98	10	200	2,39 m	211,5	504,96		
		banyaknya 9 buah																	
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	1,20	23	28,07	12	150	3,50 m	23,3333	81,67			
	banyaknya 1 buah																		
	As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)		
		DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA		10 12		
TIPE 1	7 m	x	1,88 m												918,12	2285,22	566,48	2376,63	
	banyaknya 12 buah																		
TIPE 2	5 m	x	2,39 m												1164,27		718,36		
	banyaknya 9 buah																		
TIPE 3	4 m	x	3,50 m												23,42	155,47	14,45	161,69	
	banyaknya 1 buah																		
										TOTAL TULANGAN (m)				2105,81	2440,69	1299,29	2538,32		
										BATANG				176	204				
										TOTAL (KG)				1299,29	2538,32				

Gambar 4. 162 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Melintang Lantai 3

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X				
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)
4	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	1,54	0,31 40+0.075	10	150	0,425	3,93	84	330,12	10	150	7 m	84	588,00
		banyaknya 12 buah															
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	1,034	0,31 40+0.075	10	200	0,425	2,92	60	175,56	10	200	5 m	60	282,78
		banyaknya 9 buah															
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 40+0.075	10	200	0,425	2,39	10	23,42	12	150	4 m	13	45,73	
	banyaknya 1 buah																

As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y				
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)
TIPE 1	7 m	x	1,88 m	0,41	0,31 40+0.075	12	100	0,433	0,85	840	710,22	12	100	1,88 m	840	1575,00
	banyaknya 12 buah															
TIPE 2	5 m	x	2,39 m	0,53	0,31 40+0.075	10	200	0,425	0,95	212	200,98	10	200	2,39 m	211,5	504,96
	banyaknya 9 buah															
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 40+0.075	12	150	0,433	1,20	23	28,07	12	150	3,50 m	23,3333	81,67
	banyaknya 1 buah															

As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)		
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	10	12	10	12	
TIPE 1	7 m	x	1,88 m											918,12	2285,22	566,48	2376,63	
	banyaknya 12 buah																	
TIPE 2	5 m	x	2,39 m											1164,27		718,36		
	banyaknya 9 buah																	
TIPE 3	4 m	x	3,50 m											23,42	155,47	14,45	161,69	
	banyaknya 1 buah																	
													TOTAL TULANGAN (m)		2105,81	2440,69	1299,29	2538,32
													BATANG		176	204		
													TOTAL (KG)		1299,29	2538,32		

Gambar 4. 163 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Melintang Lantai 4

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X					
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L	
5	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	1,54	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	3,93	84	330,12	10	150	7 m	84	588,00	
		banyaknya 12 buah																
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	60	175,56	10	200	5 m	60	282,78	
		banyaknya 9 buah																
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,39	10	23,42	12	150	4 m	13	45,73		
	banyaknya 1 buah																	
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y						
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L		
TIPE 1	7 m	x	1,88 m	0,41	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	0,85	840	710,22	12	100	1,88 m	840	1575,00		
	banyaknya 12 buah																	
TIPE 2	5 m	x	2,39 m	0,53	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	0,95	212	200,98	10	200	2,39 m	211,5	504,96		
	banyaknya 9 buah																	
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	1,20	23	28,07	12	150	3,50 m	23,3333	81,67		
	banyaknya 1 buah																	
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X				TUL. SUSUT Y				TOTAL (m)		BERAT (kg)				
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	10	12	0,617	1,04	
TIPE 1	7 m	x	1,88 m											918,12	2285,22	566,48	2376,63	
	banyaknya 12 buah																	
TIPE 2	5 m	x	2,39 m											1164,27		718,36		
	banyaknya 9 buah																	
TIPE 3	4 m	x	3,50 m											23,42	155,47	14,45	161,69	
	banyaknya 1 buah																	
									TOTAL TULANGAN (m)				2105,81	2440,69	1299,29	2538,32		
									BATANG				176	204				
									TOTAL (KG)				1299,29	2538,32				

Gambar 4. 164 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Melintang Lantai 5

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X							
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA	jarak	over	L	jmih	total L	DIA	jarak	L	jmih	total L			
		(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)				
6	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	1,54	0,31	10	150	0,425	3,93	84	330,12	10	150	7 m	84	588,00			
		banyaknya 12 buah																		
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	1,034	0,31	10	200	0,425	2,92	60	175,56	10	200	5 m	60	282,78			
		banyaknya 9 buah																		
	TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31	10	200	0,425	2,39	10	23,42	12	150	4 m	13	45,73			
		banyaknya 1 buah																		
As		Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y							
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA	jarak	over	L	jmih	total L	DIA	jarak	L	jmih	total L			
		(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(lonjor)	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)			
		TIPE 1	7 m	x	1,88 m	0,41	0,31	12	100	0,433	0,85	840	710,22	12	100	1,88 m	840	1575,00		
			banyaknya 12 buah																	
		TIPE 2	5 m	x	2,39 m	0,53	0,31	10	200	0,425	0,95	212	200,98	10	200	2,39 m	211,5	504,96		
			banyaknya 9 buah																	
		TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31	12	150	0,433	1,20	23	28,07	12	150	3,50 m	23,3333	81,67		
			banyaknya 1 buah																	
As		Type Pelat			TUL. SUSUT X				TUL. SUSUT Y				TOTAL (m)		BERAT (kg)					
		DIMENSI			DIA	jarak	L	jmih	total L	DIA	jarak	L	jmih	total L	10	12	10	12		
		(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)						
		TIPE 1	7 m	x	1,88 m										918,12	2285,22	566,48	2376,63		
			banyaknya 12 buah																	
		TIPE 2	5 m	x	2,39 m										1164,27		718,36			
			banyaknya 9 buah																	
		TIPE 3	4 m	x	3,50 m										23,42	155,47	14,45	161,69		
			banyaknya 1 buah																	
												TOTAL TULANGAN (m)				2105,81	2440,69	1299,29	2538,32	
												BATANG				176	204			
												TOTAL (KG)				1299,29	2538,32			

Gambar 4. 165 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Melintang Lantai 6

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X				
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)
ATAP	TIPE 1	7 m	x	1,88 m	1,54	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	3,95	84	331,46	10	150	7 m	84	588,00
		banyaknya 12 buah															
	TIPE 2	5 m	x	2,39 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	74	214,58	10	200	5 m	74	345,61
		banyaknya 11 buah															
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,39	10	23,42	10	150	4 m	13	45,73	
	banyaknya 1 buah																
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y					
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	
TIPE 1	7 m	x	1,88 m	0,41	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	0,85	560	473,48	12	150	1,88 m	560	1050,00	
	banyaknya 12 buah																
TIPE 2	5 m	x	2,39 m	0,53	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	0,95	259	245,64	10	200	2,39 m	258,5	617,17	
	banyaknya 11 buah																
TIPE 3	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	1,20	18	20,91	10	200	3,50 m	17,5	61,25	
	banyaknya 1 buah																
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)	
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	10	12	0,617	1,04
TIPE 1	7 m	x	1,88 m											588,00	1854,94	362,80	1929,14
	banyaknya 12 buah																
TIPE 2	5 m	x	2,39 m											1423,00		877,99	
	banyaknya 11 buah																
TIPE 3	4 m	x	3,50 m											151,32		93,36	
	banyaknya 1 buah																
TOTAL TULANGAN (m)													2162,32	1854,94	1334,15	1929,14	
BATANG													181	155			
TOTAL (KG)													1334,15	1929,14			

Gambar 4. 166 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Melintang Lantai Atap

Tabel 4. 26 Rekapitulasi Rasio Pembesian Pelat Portal Melintang

Lantai	Tipe	Dimensi		tebal	n	vol cor (m3)	berat tul (kg)	rasio (kg/m3)
		ly	lx					
2	Tipe 1	-	-	-	-	-	-	-
	Tipe 2	-	-	-	-	-	-	-
2	Tipe 1	4 m	3,50 m	0,12	2 buah	3,171	470,64	148,419
	Tipe 2	5 m	2,75 m	0,12	2 buah	3,10	182,00	58,67213
3	Tipe 1	4 m	3,50 m	0,12	2 buah	3,171	470,64	148,419
	Tipe 2	5 m	2,75 m	0,12	2 buah	3,10	182,00	58,67213
4	Tipe 1	4 m	3,50 m	0,12	2 buah	3,171	470,64	148,419
	Tipe 2	5 m	2,75 m	0,12	2 buah	3,10	182,00	58,67213
5	Tipe 1	4 m	3,50 m	0,12	2 buah	3,171	470,64	148,419
	Tipe 2	5 m	2,75 m	0,12	2 buah	3,10	182,00	58,67213
6	Tipe 1	4 m	3,50 m	0,12	2 buah	3,171	470,64	148,419
	Tipe 2	5 m	2,75 m	0,12	2 buah	3,10	182,00	58,67213
ATAP	Tipe 1	4 m	3,50 m	0,12	2 buah	3,171	375,74	118,4913
	Tipe 2	5 m	2,75 m	0,12	3 buah	4,65	273,00	58,67213

Sedangkan hasil perhitungan pembesian pelat memanjang adalah sebagai berikut:

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X					
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	
2	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,8305	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	2,51	26	65,62	10	150	4 m	26	98,65	
		banyaknya 2 buah																
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	15	44,94	10	200	5 m	15	72,38	
		banyaknya 2 buah																
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y						
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)		
TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	1,20	76	90,83	12	100	3,50 m	75,5	264,25		
	banyaknya 2 buah																	
TIPE 2	5 m	x	2,75 m	0,61	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	1,03	47	48,41	10	200	2,75 m	47	129,25		
	banyaknya 2 buah																	
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)		
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	10	12	0,617	1,04	
TIPE 1	4 m	x	3,50 m											164,27	355,08	101,36	369,28	
	banyaknya 2 buah																	
TIPE 2	5 m	x	2,75 m											294,98		182,00		
	banyaknya 2 buah																	
													TOTAL TULANGAN (m)		459,25	355,08	283,36	369,28
													BATANG		39	30		
													TOTAL (KG)		283,36	369,28		

Gambar 4. 167 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Memanjang Lantai 2

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X					
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA	jarak	over	L	jumlah	total L	DIA	jarak	L	jumlah	total L	
		(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	
3	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,8305	0,31 4D+0,075	10	150	0,425	2,51	26	65,62	10	150	4 m	26	98,65	
		banyaknya 2 buah																
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	1,034	0,31 4D+0,075	10	200	0,425	2,92	15	44,94	10	200	5 m	15	72,38	
		banyaknya 2 buah																
	As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y					
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA	jarak	over	L	jumlah	total L	DIA	jarak	L	jumlah	total L	
		(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	
	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0,075	12	100	0,433	1,20	76	90,83	12	100	3,50 m	75,5	264,25	
		banyaknya 2 buah																
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	0,61	0,31 4D+0,075	10	200	0,425	1,03	47	48,41	10	200	2,75 m	47	129,25	
		banyaknya 2 buah																
	As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)	
		DIMENSI			DIA	jarak	L	jumlah	total L	DIA	jarak	L	jumlah	total L	DIA		10	
		(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	(mm)	(mm)	(m)	(lonjor)	(m)	12	0,617
TIPE 1	4 m	x	3,50 m												164,27	355,08	101,36	369,28
	banyaknya 2 buah																	
TIPE 2	5 m	x	2,75 m												294,98		182,00	
	banyaknya 2 buah																	
					TOTAL TULANGAN (m)										459,25	355,08	283,36	369,28
					BATANG										39	30		
					TOTAL (KG)										283,36	369,28		

Gambar 4. 168 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Memanjang Lantai 3

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X				
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)
4	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,8305	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	2,51	26	65,62	10	150	4 m	26	98,65
		banyaknya 2 buah															
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	15	44,94	10	200	5 m	15	72,38
		banyaknya 2 buah															
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y					
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	
TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	1,20	76	90,83	12	100	3,50 m	75,5	264,25	
	banyaknya 2 buah																
TIPE 2	5 m	x	2,75 m	0,61	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	1,03	47	48,41	10	200	2,75 m	47	129,25	
	banyaknya 2 buah																
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)	
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	10	12	10	12
TIPE 1	4 m	x	3,50 m											164,27	355,08	101,36	369,28
	banyaknya 2 buah																
TIPE 2	5 m	x	2,75 m											294,98		182,00	
	banyaknya 2 buah																
						TOTAL TULANGAN (m)						459,25	355,08	283,36	369,28		
						BATANG						39	30				
						TOTAL (KG)						283,36	369,28				

Gambar 4. 169 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Memanjang Lantai 4

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X											
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)							
5	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,8305	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	2,51	26	65,62	10	150	4 m	26	98,65							
		banyaknya 2 buah																						
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	15	44,94	10	200	5 m	15	72,38							
		banyaknya 2 buah																						
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y												
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)								
TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	1,20	76	90,83	12	100	3,50 m	75,5	264,25								
	banyaknya 2 buah																							
TIPE 2	5 m	x	2,75 m	0,61	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	1,03	47	48,41	10	200	2,75 m	47	129,25								
	banyaknya 2 buah																							
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)								
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA	jarak	berat	berat							
TIPE 1	4 m	x	3,50 m											10	12	0,617	1,04							
	banyaknya 2 buah													164,27	355,08	101,36	369,28							
TIPE 2	5 m	x	2,75 m																					
	banyaknya 2 buah													294,98		182,00								
																	TOTAL TULANGAN (m)				459,25	355,08	283,36	369,28
																	BATANG				39	30		
																	TOTAL (KG)				283,36	369,28		

Gambar 4. 170 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Memanjang Lantai 5

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X				
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)
6	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,8305	0,31 4D+0.075	10	150	0,425	2,51	26	65,62	10	150	4 m	26	98,65
		banyaknya 2 buah															
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	15	44,94	10	200	5 m	15	72,38
		banyaknya 2 buah															
As	Type Pelat			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y					
	DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	
TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,77	0,31 4D+0.075	12	100	0,433	1,20	76	90,83	12	100	3,50 m	75,5	264,25	
	banyaknya 2 buah																
TIPE 2	5 m	x	2,75 m	0,61	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	1,03	47	48,41	10	200	2,75 m	47	129,25	
	banyaknya 2 buah																
As	Type Pelat			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)	
	DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jmlh (lonjor)	total L (m)	10	12	0.617	1,04
TIPE 1	4 m	x	3,50 m											164,27	355,08	101,36	369,28
	banyaknya 2 buah																
TIPE 2	5 m	x	2,75 m											294,98		182,00	
	banyaknya 2 buah																
TOTAL TULANGAN (m)												459,25	355,08	283,36	369,28		
BATANG												39	30				
TOTAL (KG)												283,36	369,28				

Gambar 4. 171 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Memanjang Lantai 6

LANTAI	As	Type Pelat			ARAH X		TUMPUAN X						LAPANGAN X					
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	
ATAP	TIPE 1	4 m	x	3,50 m	0,8305	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	2,53	26	66,04	10	150	4 m	26	98,65	
		banyaknya 2 buah																
	TIPE 2	5 m	x	2,75 m	1,034	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	2,92	23	67,41	10	200	5 m	23	108,57	
		banyaknya 3 buah																
As	Type Pelat	DIMENSI			ARAH Y		TUMPUAN Y						LAPANGAN Y					
		DIMENSI			Gambar Tulangan		DIA (mm)	jarak (mm)	over (m)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	
TIPE 1	4 m	x	3,50 m	2 buah	0,77	0,31 4D+0.075	12	150	0,433	1,20	50	60,55	12	150	3,50 m	50,3333	176,17	
TIPE 2	5 m	x	2,75 m	3 buah	0,61	0,31 4D+0.075	10	200	0,425	1,03	71	72,62	10	200	2,75 m	70,5	193,88	
As	Type Pelat	DIMENSI			TUL. SUSUT X					TUL. SUSUT Y					TOTAL (m)		BERAT (kg)	
		DIMENSI			DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	DIA (mm)	jarak (mm)	L (m)	jumlah (lonjor)	total L (m)	10	12	10	12
TIPE 1	4 m	x	3,50 m	2 buah											98,65	302,76	60,87	314,87
TIPE 2	5 m	x	2,75 m	3 buah											442,47		273,00	
TOTAL TULANGAN (m)													541,12	302,76	333,87	314,87		
BATANG													46	26				
TOTAL (KG)													333,87	314,87				

Gambar 4. 172 Perhitungan Pembesian Pelat Portal Memanjang Lantai Atap

Tabel 4. 27 Rekapitulasi Rasio Pembesian Pelat Portal Memanjang

Lantai	Tipe	dimesi		tebal	n	vol cor (m ³)	berat tul (kg)	rasio (kg/m ³)
		ly	lx					
1	Tipe 1	-	-	-	-	-	-	-
	Tipe 2	-	-	-	-	-	-	-
	Tipe 3	-	-	-	-	-	-	-
2	Tipe 1	7 m	1,88 m	0,12	12 buah	18,9	2943,11	155,72
	Tipe 2	5 m	2,39 m	0,12	9 buah	12,12	718,36	59,27537
	Tipe 3	4 m	3,50 m	0,12	1 buah	1,47	176,14	119,8232
3	Tipe 1	7 m	1,88 m	0,12	12 buah	18,9	2943,11	155,72
	Tipe 2	5 m	2,39 m	0,12	9 buah	12,12	718,36	59,27537
	Tipe 3	4 m	3,50 m	0,12	1 buah	1,47	176,14	119,8232
4	Tipe 1	7 m	1,88 m	0,12	12 buah	18,9	2943,11	155,72
	Tipe 2	5 m	2,39 m	0,12	9 buah	12,12	718,36	59,27537
	Tipe 3	4 m	3,50 m	0,12	1 buah	1,47	176,14	119,8232
5	Tipe 1	7 m	1,88 m	0,12	12 buah	18,9	2943,11	155,72
	Tipe 2	5 m	2,39 m	0,12	9 buah	12,12	718,36	59,27537
	Tipe 3	4 m	3,50 m	0,12	1 buah	1,47	176,14	119,8232
6	Tipe 1	7 m	1,88 m	0,12	12 buah	18,9	2943,11	155,72
	Tipe 2	5 m	2,39 m	0,12	9 buah	12,12	718,36	59,27537
	Tipe 3	4 m	3,50 m	0,12	1 buah	1,47	176,14	119,8232
ATAP	Tipe 1	7 m	1,88 m	0,12	12 buah	18,9	2291,94	121,2665
	Tipe 2	5 m	2,39 m	0,12	11 buah	14,81	877,99	59,27537
	Tipe 3	4 m	3,50 m	0,12	1 buah	1,47	93,36	63,51232

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan ulang gedung hotel 6 lantai di Surabaya dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah. Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Pelat

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Tulangan Pelat Menggunakan SNI

No	Tipe Pelat	Lokasi	X		Y	
1	S1 (lt 2-6)	Tumpuan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 100
		Lapangan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 100
2	S2 (lt 2-6)	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 150
3	S3 (lt 2-6)	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 150
4	S1 atap	Tumpuan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 150
		Lapangan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 150
5	S2 atap	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
6	S3 atap	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200

Akan tetapi untuk hasil revisi sidang, mengenai perhitungan penulangan pelat, diminta pula menghitung menggunakan cara PBI sebagai pembanding. Dari perhitungan PBI diperoleh hasil sebagai berikut

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Tulangan Pelat Menggunakan PBI

No	Tipe Pelat	Lokasi	X		Y	
1	S1 (lt 2-6)	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 150
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 150
2	S2 (lt 2-6)	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 150
3	S3 (lt 2-6)	Tumpuan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 150
		Lapangan	Ø 12	- 150	Ø 12	- 150
4	S1 atap	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
5	S2 atap	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 200
6	S3 atap	Tumpuan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 150
		Lapangan	Ø 12	- 200	Ø 12	- 150

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Tulangan Pelat Komponen Tangga

Tipe	Tebal (cm)	Arah	Tulangan Tangga		Tulangan Bordes	
			Ø	s	Ø	s
PELAT TIPE 1	15	X	12	200	12	250
		Y	12	250	12	250
PELAT TIPE 2	15	X	12	250	12	250
		Y	12	250	12	250
PELAT TIPE 3	15	X	12	250	16	200
		Y	12	250	12	250

2. Balok dan Sloof

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Tulangan Balok dan Sloof

Tipe (Dimensi)	Tul. Torsi	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
S1 (40/60)	2D16	4D22	4D22	2D22	2D22	Ø10-120	Ø10-150
S2 (30/40)	-	2D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-80	Ø10-120
BI LT.2 (40/60)	2D16	8D22	3D22	2D22	3D22	Ø10-120	Ø10-150
BA LT.2 (30/40)	-	3D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-80	Ø10-120
BI LT.3-5 (40/60)	2D16	8D22	3D22	2D22	3D22	Ø10-120	Ø10-150
BI LT.6 (40/60)	2D16	7D22	3D22	2D22	3D22	Ø10-120	Ø10-150
BA LT.3-6 (30/40)	-	3D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-80	Ø10-120
BI LT ATAP(40/60)	2D16	4D22	3D22	2D22	3D22	Ø10-120	Ø10-150
BA LT ATAP (30/40)	-	2D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-80	Ø10-120
BLK BORDES (40/50)	-	2D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-100	Ø10-150
BLK LIFT (30/50)	-	2D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-100	Ø10-150

Pada perhitungan penulangan balok, hasil sidang meminta kami untuk merevisi penulangan pada balok Lt.3-6, dikarenakan momen yang terjadi dipastikan tidak sama. Apabila momen yang terjadi tidak terlampaui jauh, maka tidak apa-apa menggunakan jumlah penulangan yang sama. Apabila tidak, maka diharapkan untuk menghitung penulangan sesuai dengan momen yang terjadi, untuk menghindari terjadinya pemborosan.

Hasilnya, dari lantai 3-6, momen yang harus dihitung terjadi pada balok induk lantai 6. Didapatkan perbedaan jumlah pasang tulangan yang tidak terlalu jauh.

3. Kolom

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Tulangan Kolom

Lantai	Bentang (cm)	Dimensi		Tulangan Lentur	Tulangan Geser	
		b(cm)	h(cm)		Tumpuan	Lapangan
1	400	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250
2	300	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250
3	300	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250
4	300	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250
4	300	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250
6	300	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250
R. Lift	500	40	60	16D22	Ø10-150	Ø10-250

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dikarenakan momen tiap lantai berbeda, ada baiknya penulangan yang dipasang diperhatikan kembali. Apabila selisih momen tidak terlalu jauh, maka

penulangan yang akan dipasang tidak apa-apa disamakan

2. Notasi untuk tulangan perlu diperhatikan, terutama pada gambar kerja. Notasi tulangan ulir dan polos berbeda, kekuatannya juga berbeda.
3. Perhitungan penulangan pelat antara metode SNI dan PBI sebetulnya sama, akan tetapi sampai saat ini masih banyak yang memakai metode PBI, dan metode PBI terbukti lebih efisien perhitungannya dibandingkan dengan metode SNI

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)*. Jakarta.
- Wang, C. K., Salmon, C. G. *Desain Beton Bertulang Jilid 1 dan 2 Edisi Keempat*.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Husin, N. A. (2009). *Struktur Beton*. Surabaya.
- Laboratorium Beton dan Bangunan FTSP ITS. (1992). *Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton Berdasarkan SNI 1992*. Surabaya.
- Imran, I., Hendrik, F. (2014). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung, pada 14 Mei 1996, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yakni di TK CANDI KUSUMA SIDOARJO, sempat bersekolah di SDN PUCANG 2 SIDOARJO, lalu pindah ke SDN BOTORAN 2 TULUNGAGUNG, melanjutkan pendidikan di SMP NEGERI 3 SIDOARJO, dan SMA NEGERI 2

SIDOARJO. Setelah lulus dari SMA NEGERI 2 SIDOARJO tahun 2014, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan DIII Teknik Sipil ITS, yang kini berubah nama menjadi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil-ITS pada tahun 2014, dan terdaftar dengan NRP 3114 030 088.

Di Jurusan ini, Penulis mengambil konsentrasi kuliah bidang Bangunan Gedung, sempat aktif pada organisasi mahasiswa jurusan Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) pada tahun 2015-2016 dan tidak jarang mengikuti kegiatan seminar. Selain itu, penulis sering pula berkarya dan berprestasi di bidang minat-bakat, baik seni maupun olahraga.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tanjung Enim, pada 14 Maret 1996, merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yakni di TK BHAYANGKARA, sempat bersekolah di SD XAVERIUS EMMANUEL MUARA ENIM, lalu pindah ke SDN LIDAH WETAN III/463 SURABAYA, melanjutkan pendidikan di SMP NEGERI 1 SURABAYA, dan SMA NEGERI 1 SURABAYA.

Setelah lulus dari SMA NEGERI 1 SURABAYA tahun 2014, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan DIII Teknik Sipil ITS, yang kini berubah nama menjadi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil-ITS pada tahun 2014, dan terdaftar dengan NRP 3114 030 096.

Di Jurusan ini, Penulis mengambil konsentrasi kuliah bidang Bangunan Gedung, sempat aktif pada organisasi mahasiswa jurusan Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) pada tahun 2015-2016, dilanjutkan ke periode berikutnya, 2016-2017. Penulis tidak jarang mengikuti kegiatan seminar, baik sebagai peserta ataupun panitia. Selain itu, penulis sering pula berkarya dan berprestasi di bidang minat-bakat olahraga, sekaligus bidang akademis keprofesional dalam lingkup Nasional.

Lampiran 1

DRILLING LOG													
Project No. : 1				Project : Pengembangan Dermaga Kapal Selam				Type of Drilling : Rotary					
Bore Hole No. : 1				Lokasi : Kormatim Surabaya				Date : 29-Feb-16					
Water Table : 0m (Dari				Elevation : ± 0,0 (muka tanah setempat)				Driller : Dasuki					
awal pengeboran)													
H m	Elevation	Depth in m	Thickness in m	Legend	Description & Colour	Relative Density or Consistency	UD / SPT		Standard Penetration Test				
							Depth in m	Sample Code	N-Value	Blows per each 15 cm			
									15 cm	15 cm	15 cm	N- Value	
0		0.00											0 10 20 30 40 50 60
1													
2													
3							25	SPT-1	12	4	5	7	12
4							45	UD - 1					
5							50	SPT-2	15	6	7	8	15
6							55						
7							75	SPT-3	25	4	7	18	25
8							80						
9							95	UD - 2					
10							100	SPT-4	20	5	8	12	20
11							105						
12							125	SPT-5	30	10	14	16	30
13							130						
14							145	UD - 3					
15							150	SPT-6	31	9	13	18	31
16							155						
17							175	SPT-7	51	8	22	29	51
18							180						
19							195	UD - 4					
20							200	SPT-8	36	9	16	20	36
21							205						
22							225	SPT-9	54	11	23	31	54
23							230						
24							245	UD - 5					
25							250	SPT-10	>60	15	46	60/7cm	>60
26							255						
27							275	SPT-11	>60	21	60/6cm	-	>60
28							280						
29							295	UD - 6					
30							300	SPT-12	>60	16	43	58	>60
31							305						
Legenda :													
= Lempung													
= Lanau													
= Pasir													
= Kerikil													
= Batu													
= Muka air Tanah													
Remarks :													
UD = Undisturbed Sample													
SPT = SPT Test													
* NP NS													

NOVEMBER 2014

Daftar Harga Kalsi

Pusat Bangunan Sejahtera Ades



KalsiBoard 3"

Pialon			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
3.0	1000	1000	4.3
3.0	500	1000	2.2
3.0	1000	2000	8.6
3.0	500	2000	4.3

KalsiBoard Lip 3.5"

Pialon			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
3.5	1220	2440	14.4
3.5	1200	2400	13.9

KalsiBoard Lip 4.5"

Pialon			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
4.5	1220	2440	19.0
4.5	1200	2400	18.4

KalsiBoard Lip 6"

Pialon			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	25.4
6.0	1200	2400	24.5
6.0	1200	2700	27.8
6.0	1200	3000	30.7

KalsiBoard Lip 6-12"

Pialon			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	25.4
6.0	1200	2400	24.5
6.0	1200	2700	27.8
6.0	1200	3000	30.7

KalsiBoard Lip 6-14"

Pialon			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	25.4
6.0	1200	2400	24.5
6.0	1200	2400	24.5

*Harga yang digunakan berdasarkan standar

KalsiPart 8"			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	1220	2440	34.8
8.0	1200	2400	33.6
8.0	1200	2700	37.8
8.0	1200	3000	42.1

Partisi			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	1220	2440	34.8
8.0	1200	2400	33.6
8.0	1200	2700	37.8
8.0	1200	3000	42.1

KalsiPart 8-12"

Partisi			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	1220	2440	34.8
8.0	1200	2400	33.6
8.0	1200	2700	37.8
8.0	1200	3000	42.1

KalsiPart 8-14"

Partisi			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	1220	2440	34.8
8.0	1200	2400	33.6
8.0	1200	2700	37.8
8.0	1200	3000	42.1

Dinding luar			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
10	1220	2440	42.5
10	1200	2400	42.1
10	1200	2700	47.2
10	1200	3000	52.6

KalsiCidil 12"

Dinding luar			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
12	1220	2440	52.2
12	1200	2400	51.8
12	1200	2700	56.8
12	1200	3000	61.1

KalsiPart 8"

Papan aplikasi Basah			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	1200	2400	33.6
8.0	1200	2400	33.6

KalsiPart 20"

Lantai			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
20	1200	2400	84.11
20	1200	2400	84.11

*Harga yang digunakan berdasarkan standar

Lampiran 2

KalsiPlank 8"			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	200	2400	5.6
8.0	200	2000	7.0
8.0	300	2400	8.4
8.0	300	2000	11.5

KalsiPlank 8-12"			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
8.0	200	2400	5.6
8.0	200	2000	7.0
8.0	300	2400	8.4
8.0	300	2000	11.5

KalsiPlank 12"			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
12	200	2400	8.4
12	200	2000	11.5
12	300	2400	12.6
12	300	2000	15.8

KalsiPlank 12"			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
12	200	2400	8.4
12	200	2000	11.5
12	300	2400	12.6
12	300	2000	15.8

Produk pakaging untuk pengikutan & penyediaan oleh pabrikan

AKSESORIS BARU

KalsiFing MCI			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	27.850
6.0	1200	2400	27.850
6.0	1200	2700	30.750
6.0	1200	3000	33.650

KalsiFing MJC			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	27.850
6.0	1200	2400	27.850
6.0	1200	2700	30.750
6.0	1200	3000	33.650

KalsiFing MJC			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	27.850
6.0	1200	2400	27.850
6.0	1200	2700	30.750
6.0	1200	3000	33.650

KalsiFing MJC			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	27.850
6.0	1200	2400	27.850
6.0	1200	2700	30.750
6.0	1200	3000	33.650

KalsiFing MJC			
Total (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Harga (Rp/kuadrat)
6.0	1220	2440	27.850
6.0	1200	2400	27.850
6.0	1200	2700	30.750
6.0	1200	3000	33.650

*Harga yang digunakan berdasarkan standar

Standar:

- 1. ISO 9001:2015
- 2. ISO 14001:2015
- 3. ISO 45001:2018
- 4. ISO 9001:2015
- 5. ISO 14001:2015
- 6. ISO 45001:2018

Standar:

- 1. ISO 9001:2015
- 2. ISO 14001:2015
- 3. ISO 45001:2018
- 4. ISO 9001:2015
- 5. ISO 14001:2015
- 6. ISO 45001:2018

Standar:

- 1. ISO 9001:2015
- 2. ISO 14001:2015
- 3. ISO 45001:2018
- 4. ISO 9001:2015
- 5. ISO 14001:2015
- 6. ISO 45001:2018

Standar:

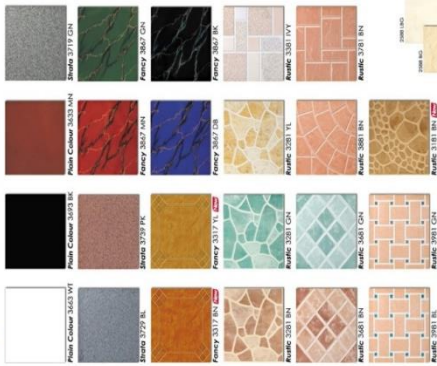
- 1. ISO 9001:2015
- 2. ISO 14001:2015
- 3. ISO 45001:2018
- 4. ISO 9001:2015
- 5. ISO 14001:2015
- 6. ISO 45001:2018

Standar:

- 1. ISO 9001:2015
- 2. ISO 14001:2015
- 3. ISO 45001:2018
- 4. ISO 9001:2015
- 5. ISO 14001:2015
- 6. ISO 45001:2018



30 x 30



TECHNICAL DATA
ARAWANA Ceramic Tiles

DESCRIPTION	UNIT	FLOOR TILE ARAWANA	ISO	WALL TILE ARAWANA	ISO
Size Tolerance	%	+/- 0.5	+/- 0.6	(-0.2 - +0.02)	(-0.3 - +0.8)
Rectification	%	+/- 0.5	+/- 0.6	+/- 0.3	+/- 0.3
Rectangularity	%	+/- 0.4	+/- 0.5	+/- 0.3	+/- 0.3
Strength of sides	%	+/- 0.4	+/- 0.5	+/- 0.3	+/- 0.3
a. Cantile Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5		
b. Edge Curvature	%	+/- 0.5	+/- 0.5		
Water Absorption	kg/m ²	min 200	180	mm	(-0.2 - +0.8)
Modulus of Rupture	kg/cm ²	min 200	180	mm	(-0.2 - +0.8)
Cracking Resistance	%	6-9	6-9	mm	(-0.2 - +0.8)
		Required	Required	mm	(-0.2 - +0.8)
		(0.5m)	(0.5m)	mm	(-0.2 - +0.8)

SIZE (cm)	QTY. BOX	MT. BOX	WT. KG/BOX
20cm x 20cm	25	1	13.4
25cm x 25cm	20	1	17
30cm x 30cm	11	1	14-16
40cm x 40cm	6	1	15.5-16.5

Arwana Ceramic Tiles packing information



Contact us :

Head Office

PT. ARWANA CTRAMULLA TBK
Jl. Raya Pasar Kemis
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phone: 62 21 5830 2363
Fax: 62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com
Website: www.arwanacitra.com

Sole Distributor

PT. ARWANA CTRAMULLA TBK
Jl. Raya Pasar Kemis
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phone: 62 21 5830 2363
Fax: 62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com

Factories

PT. ARWANA CTRAMULLA TBK
Jl. Raya Pasar Kemis
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phone: 62 21 5830 2363
Fax: 62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com

Plant II:

PT. ARWANA CTRAMULLA TBK
Jl. Raya Pasar Kemis
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phone: 62 21 5830 2363
Fax: 62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com

Plant III:

PT. ARWANA CTRAMULLA TBK
Jl. Raya Pasar Kemis
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phone: 62 21 5830 2363
Fax: 62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com

Plant IV:

PT. ARWANA CTRAMULLA TBK
Jl. Raya Pasar Kemis
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phone: 62 21 5830 2363
Fax: 62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com



SUTIRBON
BATA RINGAN

Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

- Panjang, L (mm) : 600
Tinggi, H (mm) : 200 ; 400
Tebal, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200
- Berat jenis kering, (ρ) : 530 kg/m³
Berat jenis normal, (ρ) : 800 kg/m³
Kuat tekan, (σ) : $\geq 4,0$ N/mm²
Konduktivitas termis, (λ) : 0.14 W/mK

Tebal	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.56	4.67
Isi / m ³	Blok 111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

Citicon Light Concrete Technical Specifications

- Length, L (mm) : 600
Height, H (mm) : 200 ; 400
Thick, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

- Dry Density, (ρ) : 530 kg/m³
Field Density, (ρ) : 800 kg/m³
Compressive strength, (σ) : ≥ 4.0 N/mm²
Thermal Conductivity, (λ) : 0.14 W/mK

Thick	75	100	125	150	175	200
Wall Area / m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.56	4.67
Contents / m ³	Blok 111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67



CV. ANUGERAH AJITAMA

SUPPLIER MATERIAL BANGUNAN

No. Telp : (031) 8959416 / 082220524447

Fax : (031) 8959416

Email : anugerahajitama@gmail.com

► SPESIFIKASI TEKNIK

REGULAR BLOK

Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200
Tebal, W (mm)	: 75, 100, 125, 150, 175, 200
Berat jenis kering, (kg/m³)	: 490

Berat jenis normal, (kg/m³)	: 550
Kuat tekan, (N/mm²)	: ≥ 4.0
Dimensi per palet (meter)	: 1.00 x 1.20

TEBAL	mm	75	100	125	150	175	200
Volume	M³	1.80	1.80	1.80	1.80	1.68	1.92
Jumlah Blok / Palet	blok	200	150	120	100	80	80
Isi / M³	blok	111.11	83.33	66.67	55.56	44.44	44.44
Berat per Palet (tanpa Palet)	Kg	990	990	990	990	924	1.056
Tinggi Kemasan (Termasuk Palet)	Mtr	1.61	1.61	1.61	1.61	1.51	1.71

JUMBO BLOK

Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 400
Tebal, W (mm)	: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250
Berat jenis kering, (kg/m³)	: 490

Berat jenis normal, (kg/m³)	: 550
Kuat tekan, (N/mm²)	: ≥ 4.0
Dimensi per palet (meter)	: 1.20 x 1.20

TEBAL	mm	75	100	125	150	175	200	250
Volume	M³	1.73	1.73	1.62	1.73	1.51	1.73	1.44
Jumlah Blok / Palet	blok	96	72	54	48	36	36	24
Isi / M³	blok	53.33	40.00	30.00	26.67	20.00	20.00	13.33
Berat per Palet (tanpa Palet)	Kg	950	950	891	950	832	950	792
Tinggi Kemasan (Termasuk Palet)	Mtr	1.31	1.31	1.24	1.31	1.16	1.31	1.11

INTERLOCKING BLOK

Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200
Tebal, W (mm)	: 150, 200
Berat jenis kering, (kg/m³)	: 490

Berat jenis normal, (kg/m³)	: 550
Kuat tekan, (N/mm²)	: ≥ 4.0
Dimensi per palet (meter)	: 1.00 x 1.20

TEBAL	mm	150	200
Volume	M³	1.80	1.92
Jumlah Blok / Palet	blok	100	80
Isi / M³	blok	55.56	41.67
Berat per Palet (tanpa Palet)	Kg	990	1.056
Tinggi Kemasan (Termasuk Palet)	Mtr	1.61	1.71



Autoclaved Aerated Concrete



LANTAI



Floor Screed T100

- Untuk pasang keramik, homogenous tile, granit, marmor, batu alam.
- Khusus untuk pemakaian di daerah kering
- Cocok untuk interior & eksterior (kamar tidur, ruang tamu, ruang keluarga)



40kg



Tile Adhesive

◆ TA Standard T100

- Untuk pasang keramik, homogenous tile, granit, marmor, batu alam.
- Khusus untuk pemakaian di daerah kering
- Cocok untuk interior & eksterior (kamar tidur, ruang tamu, ruang keluarga)
- Ketebalan aplikasi berkisar antara 3-5 mm
- Pemakaian 4-5 kg /m²



25kg

5kg



◆ TA Plus T325

- Untuk pasang keramik, homogenous tile, granit, marmor, batu alam.
- Khusus untuk pemakaian di daerah kering & basah
- Cocok untuk interior & eksterior (kolam renang, kamar mandi dan dinding luar)
- Ketebalan aplikasi berkisar antara 3-5 mm
- Pemakaian 4-5 kg /m²
- Untuk pemasangan keramik di atas keramik



25kg

5kg



Tile Grout

◆ Tile Grout

- Pengisi nat ubin dengan lebar celah antara 1,5 - 4 mm
- Cocok untuk semua jenis keramik, marmor, granit maupun beragam batu alam
- Tile Grout untuk semua area
- Untuk ubin pada dinding dan lantai



1kg



◆ Grout Additive

- Cairan aktif penganti air yang dicampurkan ke Tile Grout agar tahan terhadap ultra violet dan bahan kimia konsentrasi rendah
- Untuk daerah yang sering terkena air, sekaligus anti jamur seperti kolam renang
- Minim perawatan (washable)



1L

Dapat diperoleh di:

www.drymix.co.id